

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Энергетический институт  
Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы				
<b>Асинхронный электропривод механизма подъема геофизического прибора</b>				

УДК: 550.83.07:62-83-523

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Янчук Вадим Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	Д.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический  
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Янчуку Вадиму Сергеевичу

Тема работы:

<b>Асинхронный электропривод механизма подъема геофизического прибора</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Электропривод механизма подъема геофизического прибора;</li> <li>- Режим работы – продолжительный;</li> <li>- Регулирование скорости движения геофизического прибора в скважине;</li> <li>- Скалярное управление электроприводом.</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Изучить технологический процесс;</li> <li>- Выбрать способ регулирования АД с короткозамкнутым ротором;</li> <li>- Разработать имитационную модель электропривода;</li> <li>- Исследовать переходные процессы в электроприводе в различных режимах.</li> </ul>

конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Технический раздел	Чернышев Александр Юрьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Нина Васильевна
Социальная ответственность	Панин Владимир Филиппович

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Александр Юрьевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Янчук Вадим Сергеевич		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 83 с., 30 рисунков, 20 таблиц, 24 источника.

Ключевые слова: каротаж, технологический процесс, электропривод каротажного подъемника, электродвигатель, кабель грузонесущий геофизический, кинематическая схема, структурная схема, регулирование скорости, имитационная модель, переходный процесс.

Объектом исследования является электропривод каротажного подъемника.

Цель работы – модернизация электропривода самоходной каротажной установки.

Результат модернизации: замена двигателя постоянного тока двигателем переменного тока и применение преобразователя частоты фирмы «Danfoss» VLT5102.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word, пакета программ: MATLAB, MathCAD.

## Оглавление

Введение.....	7
1 Основная часть .....	9
1.1 Объект автоматизации.....	9
1.2 Кинематическая схема и описание технологического процесса спуска-подъема геофизического прибора .....	11
1.3 Требования к электроприводу .....	13
1.4 Расчет нагрузки при подъеме и спуске кабеля, определение мощности электродвигателя.....	14
1.4.1 Расчет нагрузки при подъеме и спуске кабеля .....	14
1.4.2 Определение мощности и выбор электродвигателя.....	17
1.5 Расчет параметров схемы замещения .....	20
1.6 Моделирование динамической модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат .....	27
1.7 Выбор преобразователя частоты .....	32
1.7.1 Выбор несущей частоты инвертора .....	34
1.8 Искусственные статические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$ .....	35
1.9 Моделирование скалярной системы управления .....	38
1.10 Моделирование скалярной системы управления с задатчиком интенсивности .....	43
2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	48
2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности.....	49
2.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	49
2.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	51
2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	51

2.2.2	Разработка графика проведения научного исследования .....	52
2.3	Бюджет научно-технического исследования (НИР).....	57
2.3.1	Основная заработная плата исполнителей темы .....	57
2.3.2	Дополнительная заработная плата исполнительной системы.....	58
2.3.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	59
2.3.4	Амортизационные отчисления .....	60
2.3.5	Накладные расходы .....	61
2.3.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	61
3	Социальная ответственность .....	65
3.1	Анализ вредных факторов.....	66
3.1.1	Шум .....	67
3.1.2	Вибрация .....	68
3.1.3	Недостаток естественного света.....	69
3.1.4	Микроклимат .....	72
3.2	Анализ опасных факторов.....	73
3.2.1	Электропоражение .....	74
3.2.2	Загорание (пожар) .....	75
3.3	Защита окружающей среды .....	76
3.4	Предотвращение ЧС и устранение их последствий .....	77
3.4.1	Пожар (загорание) – как источник ЧС.....	77
3.4.2	Электропоражение как источник ЧС .....	78
	Заключение .....	80
	Список использованных источников .....	81

## **Введение**

В нефтяной и газовой промышленности бурение скважин производят для их разработки, поиска и разведки месторождений углеводородного сырья. Для изучения технического состояния и геологического разреза скважин месторождений проводятся геофизические исследования скважин (ГИС), также эти исследования называют промысловой геофизикой.

Изучение геологического разреза скважины заключается в определении последовательности и глубины залегания пластов горных пород, их литолого-петрографических свойств, наличия и количественного содержания в недрах полезных ископаемых. Изучение разреза возможно путем отбора и анализа керна. Однако некоторые физико-химические свойства пород поддаются изучению непосредственно в скважине в условиях их естественного залегания путем проведения в ней соответствующих геофизических исследований. Такие исследования, заменяющие частично или полностью отбор керна, названы каротаж.[1]

Каротаж (франц. carottage, от carotte — буровой керн, буквально — морковь), геофизические исследования скважин, выполняемые с целью изучения геологических разрезов и выявления полезных ископаемых.

Первые геофизические исследования в скважинах — измерения температуры — были выполнены Д. В. Голубятииковым в 1908 на нефтяных промыслах в Баку.

В 1926 братьями Шлюмберже (Франция) был предложен электрический каротаж скважин. Высокая эффективность электрического каротажа обеспечила его быстрое внедрение в нефтяную промышленность и дала толчок для создания других методов исследования скважин.

В 1955—1960 гг. рядом организаций делались попытки создания автоматических газокаротажных станций (АГКС).

В конце 70-х годов стали широко развиваться исследования в процессе бурения с переходом от АГКС, предназначенных для проведения только газового каротажа, к комплексным компьютеризированным системам геолого-геофизико-геохимико-технологических исследований (АГИС).

В России каротажные подъемники, в т.ч. монтируемые на станции, выпускают немало предприятий. Одним из таких предприятий является ОАО «Тюменский опытно-экспериментальный завод геофизического приборостроения». Завод выпускают подъемники типа ПКС-5-2 на базе шасси Урал-5557-1151-40, типа ПКС-5Г с гидравлическим (или механическим) приводом – на шасси КамАЗ-43118-0001996-10. Глубина ГИС – до 5 км. С 2005 г. завод изготавливает переносной каротажный подъемник ПКН-3,5.

На месторождениях широко эксплуатируются также каротажные подъемники ОАО НПФ «Геофизика», ООО «СТК Геостар», НПФ «Велко», «AGT systems», ЗАО «Гисприбор-М» и др. Из зарубежных в России присутствует геофизическая продукция компаний МП «Сигма», Asep, GeoSys, GeoMachine OY, Schlumberger и др.

В XXI веке в мире будет продолжаться рост потребления минерально-сырьевых и энергетических ресурсов, в связи с чем горнодобывающая промышленность обязана развиваться, ведь от нее зависит число открываемых и эксплуатируемых месторождений полезных ископаемых.

В представляемой выпускной квалификационной работе поставлена задача модернизации электропривода каротажного подъемника. Для решения поставленной задачи необходимо: произвести замену двигателя постоянного тока на двигатель переменного тока и выбрать способ регулирования скорости.



## **1 Основная часть**

### **1.1 Объект автоматизации**

Управление электроприводом каротажного подъемника, осуществляется с помощью преобразователя, блока автоматики и блока измерения глубины и скорости. С учетом сигнала с панели управления и информации о скорости движения кабеля, поступающей с датчика импульсов глубины.

Для формирования задания скорости в ЭП используются сигналы с путевых выключателей кабелеукладчика ПВЛ и ПВП.

Каротажный кабель, сматываемый с барабана, на пути в скважину проходит через блок датчиков параметров движения кабеля, содержащий датчик импульсов глубины, тензодатчик натяжения и датчик меток глубины, позволяющий измерять глубину заранее размеченного магнитными метками каротажного кабеля. В блоке датчиков размещен сельсин-датчик, связанный с мерным роликом датчика импульсов глубины и обеспечивающий синхронное с кабелем движение лентопротяжного механизма регистратора каротажных диаграмм лаборатории.

С блоком датчиков параметров движения, размещенном на каретке кабелеукладчика механически соединена мерная база разметочной установки УРК-1000. Электрически связанный с датчиками мерной базы блок измерения глубины обеспечивает в соответствии с алгоритмом работы УРК-1000 разметку кабеля на скважине в процессе проведения спускоподъемных операций. Контроль натяжения осуществляется по цифровому индикатору натяжения в блоке обработки сигнала силоизмерительного устройства.

Электропитание подъемника осуществляется от трехфазной промышленной сети 380В, 50Гц через кабель, присоединенный с помощью силового разъема к входному щитку. Входной фильтр снижает уровень радиопомех подъемника, а силовой выключатель осуществляет коммутацию и защиту всех энергопотребителей подъемника. Трёхфазное напряжение на вход

преобразователя поступает через блок контакторов, осуществляющий коммутацию напряжения по командам от кнопок "пуск" и "стоп" и одновременный выбор необходимого для нормальной работы преобразователя, направления чередования фаз сетевого напряжения. Контроль за наличием и величиной фазных напряжений осуществляется по световым индикаторам и измерительному прибору силового выключателя.

Подготовленный к работе комплекс имеет следующие функциональные связи:

- скважинный прибор через каротажный кабель, расположенный на барабане лебедки, через коллектор и соединительный кабель связан с вводным устройством каротажной лаборатории, к которому подсоединяются соответствующие наземные измерительные панели;
- блок питания сельсинов каротажного подъемника связан через соединительный кабель с сельсином-датчиком, присоединенным механически на устье скважины к блок-балансу, а через другой соединительный кабель с сельсином-приемником регистратора лаборатории;
- датчик натяжения, размещенный на штанге подвешенного ролика, связан электрическим кабелем с панелью измерения натяжения каротажного подъемника;
- датчик магнитных меток на устье скважины подключен электрическим кабелем к регистратору лаборатории.

Контроль параметров движения скважинного прибора осуществляется следующим образом:

- глубина измеряется механическими счетчиками, размещенными в каротажном подъемнике и/или в лаборатории;
- скорость движения кабеля и его натяжение измеряется приборами, расположенными в каротажном подъемнике;
- сигнал с магнитного датчика магнитных меток глубины поступают на измерительные панели и индикаторное устройство каротажной лаборатории.[3]

## **1.2 Кинематическая схема и описание технологического процесса спуска-подъема геофизического прибора**

Кинематические схемы спускоподъемного механизма и кабелеукладчика представлена на рисунках 1 и 2.

Спускоподъемный агрегат СПА-4, разработанный СКТБ СГА (г. Октябрьский), состоит из лебедки и кабелеукладчика. Цепная передача с  $i = 4.5$  соединяет барабан лебедки с выходным валом планетарного редуктора 1. Цепь — однорядная, повышенной прочности. Редуктор — двухскоростной, комбинированный, трехступенчатый. На первой передаче передаточное число редуктора  $i = 6.83$ , на второй —  $i = 125.3$ .

Кабелеукладка осуществляется с помощью двух направляющих роликов, снабженных сверху и снизу роликовыми ограничителями хода кабеля. Направляющие ролики перемещаются кареткой с помощью реверсивного ходового винта с прямоугольной резьбой. Кабелеукладчик имеет жесткую механическую связь с барабаном через карданную передачу и редуктор 2.

Синхронизация кабелеукладчика с барабаном лебедки осуществляется путем полуавтоматической коррекции укладки с помощью регулируемого электродвигателя 2.

Торможение лебедки осуществляется двумя ленточными тормозами, охватывающими полуокружности обеих реборд бочки барабана. Управление тормозом может осуществляться механически с помощью педали или рычага. Для осуществления управляемого торможения применяется комбинированное торможение с помощью педали (грубо) и рычага (плавно).

Вращение барабана лебедки осуществляется либо от электродвигателя 1, либо от двигателя внутреннего сгорания автомобиля через редуктор 3.

Управление электроприводом осуществляется с помощью преобразователя, блока автоматики и блока измерения глубины и скорости.

Каротажный кабель, сматываемый с барабана, на пути в скважину проходит через блок датчиков параметров движения кабеля (датчик импульсов глубины, датчик силы тензоизмерительный).

В блоке размещен сельсин-датчик, связанный с мерным роликом датчика импульсов глубины и обеспечивающий связь с регистрирующим устройством. Контроль натяжения осуществляется по цифровому индикатору натяжения в блоке обработки сигнала датчика силы.

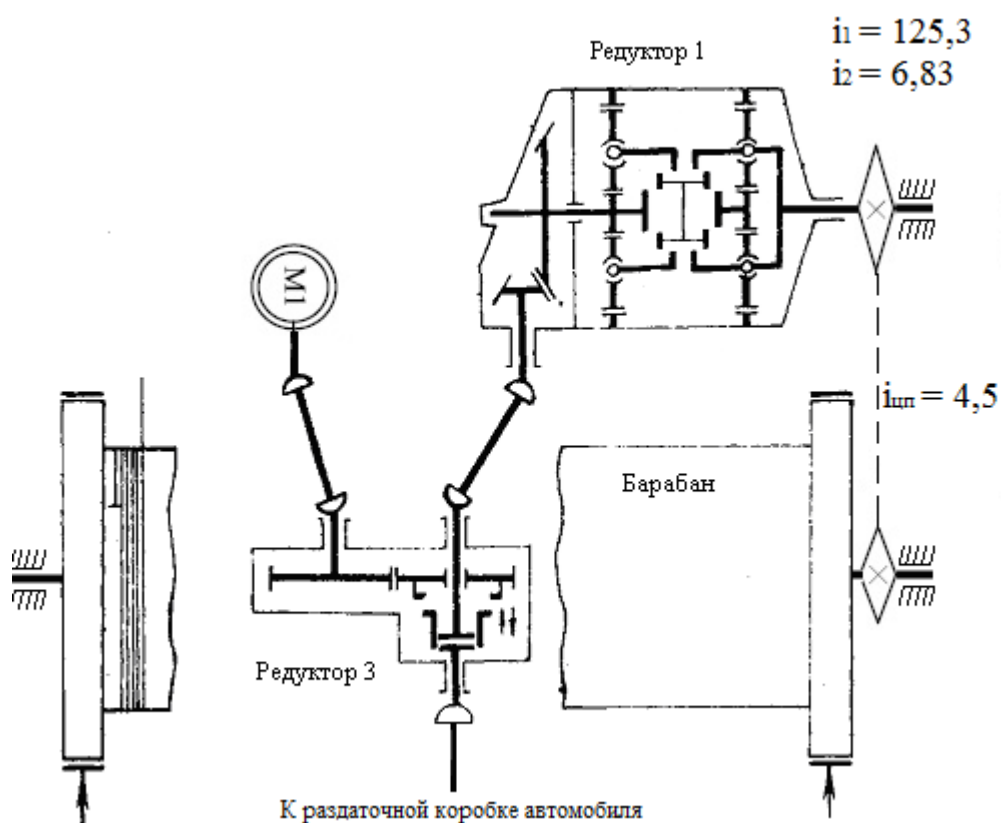


Рисунок 1 – Кинематическая схема спускоподъемного механизма

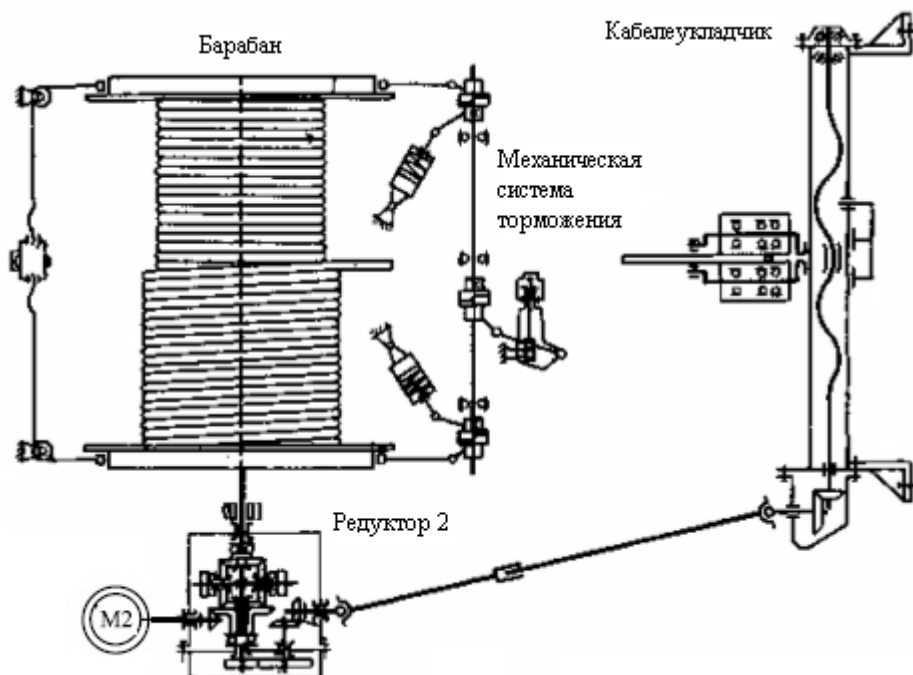


Рисунок 2 – Кинематическая схема кабелеукладчика

### 1.3 Требования к электроприводу

Требования к электроприводу каротажного подъемника определяются техническими и другими требованиями, предъявляемыми к подъемникам.

1. Взаимозаменяемость составных частей между вариантами исполнения подъемников.
2. Обеспечение скорости подъема кабеля на среднем диаметре намотки барабана в диапазоне  $100 \div 8000$  м/час.
3. Обеспечение тяги не менее 1 кН.
4. Питающая сеть трехфазная четырехпроводная 380 В, частотой  $50 \pm 1$  Гц.
5. Потребляемая мощность не должна превышать 90 кВт.
6. Максимальная унификация механических и других элементов электропривода (подъемника).
7. Сохранение работоспособности после пребывания в климатических условиях при температуре от минус 50 до плюс 50 °С и относительной влажности воздуха не более 95% при температуре 30 °С.

## 1.4 Расчет нагрузки при подъеме и спуске кабеля, определение мощности электродвигателя.

Исходные параметры лебедки:

- длина барабана:  $l_{\bar{o}} = 0,96 \text{ м}$ ;
- диаметр бочки барабана:  $d_{\bar{o}} = 0,5 \text{ м}$ ;
- диаметр каротажного кабеля для КГЗ-60-90:  $d_k = 10,2 \text{ мм}$ ;
- масса геофизического прибора:  $m_z = 200 \text{ кг}$ .

### 1.4.1 Расчет нагрузки при подъеме и спуске кабеля

Диаметр намотки кабеля на барабан рассчитаем относительно числа слоев кабеля  $N$  на барабане по формуле:

$$d_{\bar{o}N}(N) = d_{\bar{o}} + (2 \cdot N - 1) \cdot d_k, \quad (1)$$

где  $d_{\bar{o}}$  – диаметр барабана;  $d_k$  – диаметр каротажного кабеля, м.

Остаточная длина каротажного грузонесущего кабеля, намотанного на барабан:

$$L(N) = \pi \cdot w \cdot (N \cdot d_{\bar{o}} + N^2 \cdot d_k), \quad (2)$$

где  $w = \frac{l_{\bar{o}}}{d_k} = \frac{0,96}{10,2 \cdot 10^{-3}} = 94,118$  - число слоев кабеля в одном слое намотки,

$l_{\bar{o}}$  - длина барабана, м.

Сила тяги, создаваемая барабаном определяется как:

$$F_T(N) = [(L_k - L(N)) \cdot m_{к.у.}] \cdot g + m_z \cdot g, \quad (3)$$

где  $L_k - L(N)$  - длина кабеля в шахте;  $m_{к.у.}$  - масса удельная каротажного кабеля, кг/м;  $m_z$  - масса геофизического прибора, кг;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>. [4]

КПД кинематической системы:

$$\eta = \eta_p \cdot \eta_{yn} \cdot \eta_{nk}^3 \cdot \eta_{mp}^2 = 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,995^3 \cdot 0,95^2 = 0,828, \quad (4)$$

где  $\eta_p$  - КПД редуктора;  $\eta_{yn}$  - КПД цепной передачи;  $\eta_{nk}$  - КПД подшипников качения;  $\eta_{mp}$  - КПД, учитывающий потери на трение в блоках и каротажном кабеле.

Момент нагрузки на валу электродвигателя для двух значений передаточного числа редуктора:

$$M_{\partial 61}(N) = \frac{F_T(N) \cdot d_{\partial N}(N)}{2 \cdot i_1 \cdot \eta}; \quad (5)$$

$$M_{\partial 62}(N) = \frac{F_T(N) \cdot d_{\partial N}(N)}{2 \cdot i_2 \cdot \eta}, \quad (6)$$

где  $i_2 = i_{p1} \cdot i_{yn} = 125,3 \cdot 4,5 = 563,85$  и  $i_1 = i_{p2} \cdot i_{yn} = 6,83 \cdot 4,5 = 30,735$  – суммарное передаточное число кинематической цепи “электродвигатель – редуктор – цепная передача – барабан”.

Задаваясь рядом значений количества слоев  $N$ , рассчитываем параметры по формулам выше и сводим расчеты в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет нагрузки

N =	$d_{6N}(N) =$	$L(N) =$	$4000 - L(N) =$	$F_T(N) =$	$M_{дв1}(N) =$	$M_{дв2}(N) =$
1	0.51	150.856	$3.849 \cdot 10^3$	$17.891 \cdot 10^3$	175.694	9.577
2	0.531	307.743	$3.692 \cdot 10^3$	$17.242 \cdot 10^3$	176.088	9.598
3	0.551	470.662	$3.529 \cdot 10^3$	$16.568 \cdot 10^3$	175.708	9.578
4	0.571	639.613	$3.36 \cdot 10^3$	$15.869 \cdot 10^3$	174.523	9.513
5	0.592	814.596	$3.185 \cdot 10^3$	$15.144 \cdot 10^3$	172.505	9.403
6	0.612	995.611	$3.004 \cdot 10^3$	$14.395 \cdot 10^3$	169.624	9.246
7	0.633	$1.183 \cdot 10^3$	$2.817 \cdot 10^3$	$13.621 \cdot 10^3$	165.851	9.04
8	0.653	$1.376 \cdot 10^3$	$2.624 \cdot 10^3$	$12.822 \cdot 10^3$	161.156	8.784
9	0.673	$1.575 \cdot 10^3$	$2.425 \cdot 10^3$	$11.998 \cdot 10^3$	155.51	8.477
10	0.694	$1.78 \cdot 10^3$	$2.22 \cdot 10^3$	$11.149 \cdot 10^3$	148.884	8.116
11	0.714	$1.991 \cdot 10^3$	$2.009 \cdot 10^3$	$10.275 \cdot 10^3$	141.247	7.699
12	0.735	$2.208 \cdot 10^3$	$1.792 \cdot 10^3$	$9.376 \cdot 10^3$	132.572	7.226
13	0.755	$2.432 \cdot 10^3$	$1.568 \cdot 10^3$	$8.452 \cdot 10^3$	122.828	6.695
14	0.775	$2.661 \cdot 10^3$	$1.339 \cdot 10^3$	$7.503 \cdot 10^3$	111.985	6.104
15	0.796	$2.896 \cdot 10^3$	$1.104 \cdot 10^3$	$6.53 \cdot 10^3$	100.016	5.452
16	0.816	$3.138 \cdot 10^3$	862.488	$5.531 \cdot 10^3$	86.889	4.736
17	0.837	$3.385 \cdot 10^3$	615.122	$4.507 \cdot 10^3$	72.576	3.956
18	0.857	$3.638 \cdot 10^3$	361.725	$3.458 \cdot 10^3$	57.047	3.11
19	0.877	$3.898 \cdot 10^3$	102.296	$2.385 \cdot 10^3$	40.273	2.195

Максимальная и минимальная скорость вращения барабана зависит так же от числа слоев кабеля на барабане. Необходимо, чтобы электропривод обеспечивал минимальную скорость (подъема), при максимальном числе слоев кабеля на барабане, а максимальную скорость (спуска), при меньшем числе слоев.

Максимальная и минимальная скорость вращения барабана в зависимости от числа слоев кабеля на барабане определены ниже

$$\omega_{мин.б.}(N) = \frac{v_{мин}}{d_{6N1} / 2} = \frac{0,03}{0,877 / 2} = 0,068 \text{ с}^{-1}; \quad (7)$$

$$\omega_{мин.б.}(N) = \frac{v_{макс}}{d_{6N2} / 2} = \frac{2,361}{0,51 / 2} = 9,259 \text{ с}^{-1}. \quad (8)$$



Имеющийся редуктор с двумя передаточными числами расширяет диапазон регулирования электропривода. Определяем требуемый диапазон регулирования при  $i_1 = 30,735$ :

$$n_{\text{макс.1}} = 9,55 \cdot \omega_{\text{макс.б.}} \cdot i_1 = 9,55 \cdot 9,259 \cdot 30,735 = 2716,521 \text{ об/мин}; \quad (9)$$

$$n_{\text{мин.1}} = 9,55 \cdot \omega_{\text{мин.б.}} \cdot i_1 = 9,55 \cdot 0,068 \cdot 30,735 = 19,959 \text{ об/мин}; \quad (10)$$

И аналогично производим расчет при  $i_2 = 563,85$ :

$$n_{\text{макс.2}} = 9,55 \cdot \omega_{\text{макс.б.}} \cdot i_2 = 9,55 \cdot 9,259 \cdot 563,85 = 49836,023 \text{ об/мин}; \quad (11)$$

$$n_{\text{мин.2}} = 9,55 \cdot \omega_{\text{мин.б.}} \cdot i_2 = 9,55 \cdot 0,068 \cdot 563,85 = 366,164 \text{ об/мин}; \quad (12)$$

При выборе двигателя его синхронная скорость должна быть не менее 3000 об/мин.

#### 1.4.2 Определение мощности и выбор электродвигателя

Для работы двигателя на максимальной скорости потребуется увеличение частоты напряжения статора до уровня:

$$f_{\text{макс}} = \frac{n_{\text{макс}} \cdot f_{\text{ном}}}{n_{\text{дв.0}}} = \frac{2716,521 \cdot 50}{3000} = 45,275 \text{ Гц}. \quad (13)$$

Для работы двигателя с одной парой полюсов на минимальной скорости потребуется снижение частоты напряжения статора до уровня:

$$f_{\text{мин}} = \frac{n_{\text{мин}} \cdot f_{\text{ном}}}{n_{\text{дв.0}}} = \frac{366,164 \cdot 50}{3000} = 6,103 \text{ Гц}. \quad (14)$$

Момент нагрузки, создаваемый механизмом, неизменен по величине на протяжении всего диапазона регулирования, т.е. необходимо выполнение следующих условий:

$$M_{\text{дв.мин}} \geq M_{\text{мех.}}; \quad M_{\text{дв.макс}} \geq M_{\text{мех.}} \quad (15)$$

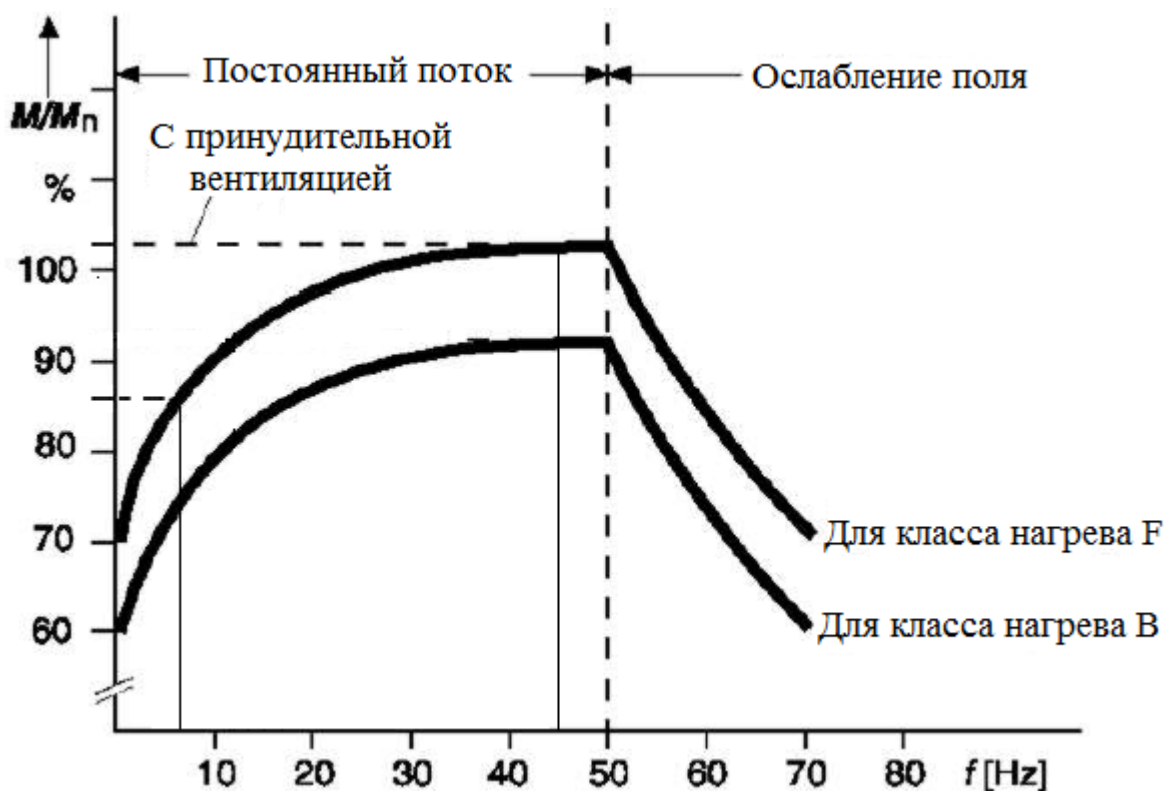


Рисунок 3 – Нагрузочная характеристика АД при частотном регулировании

В соответствие с рисунком 3 для двигателя с самовентиляцией на частоте 45.275 Гц необходимо ограничение момента на уровне  $1,02 \cdot M_{\text{дв.мин}}$ . Следовательно, для максимальной скорости должно выполняться условие:

$$M_{\text{дв.тр}} \geq \frac{M_{\text{мех}}}{1,02}, \quad (16)$$

где  $M_{\text{дв.тр}}$  - требуемый момент двигателя.

При работе на частоте 6.103 Гц для двигателя с самовентиляцией необходимо ограничение момента на уровне  $0,85 \cdot M_{\text{дв.мин}}$ .

Следовательно, для минимальной скорости должно выполняться условие:

$$M_{\text{дв.тр}} \geq \frac{M_{\text{мех}}}{0,85}. \quad (17)$$

Из двух условий выбираем минимальное ограничение:

$$M_{\text{дв.тр}} \geq \frac{M_{\text{мех}}}{0,85} = \frac{175,694}{0,85} = 206,699 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (18)$$

Требуемая мощность АД:

$$P_{\text{дв.тр}} \geq \frac{M_{\text{дв.тр}} \cdot n_{\text{дв.0}}}{9,55} = \frac{206,699 \cdot 3000}{9,55} = 64931,568 \text{ Вт.} \quad (19)$$

Выбираем двигатель с номинальной мощностью 75 кВт.

Параметры двигателя приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры двигателя

Двигатель	5A280S2K
$P_{\text{ном}}, \text{ кВт}$	75
$n, \text{ об / мин}$	2955
$\eta$	0,932
$\cos \varphi$	0,91
$s_{\text{н}}$	0,015
$\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{н}}}$	7,5
$\frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{н}}}$	2
$\frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	1
$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	2,9
$J_{\text{дв}}, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2$	0,47

Необходимо выполнить дополнительную проверку предварительно выбранного двигателя:

$$M_{\text{дв.ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_{\text{дв.ном}}}{n_{\text{дв.ном}}} = 9,55 \cdot \frac{75000}{2955} = 242,368 \text{ Н} \cdot \text{ м.} \quad (20)$$

Условие  $M_{\text{дв.ном.}} \geq M_{\text{дв.тр}}$  выполняется, следовательно, выбор двигателя сделан правильно.

## 1.5 Расчет параметров схемы замещения

Наиболее простая и удобная для инженерных расчетов является Т-образная схема замещения асинхронного двигателя, представленная на рисунке 4.

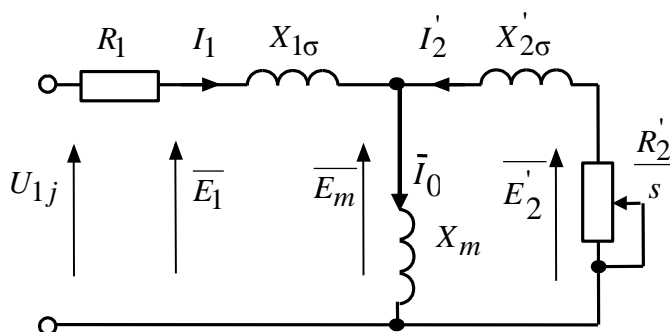


Рисунок 4 – Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке 4 приняты следующие обозначения:

$U_{1j}$  – фазное напряжение обмотки статора;

$R_1$  – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

$I_1$  – ток обмотки статора;

$E_1$  – ЭДС обмотки статора;

$R'_2$  – активное сопротивление обмотки ротора,

приведенное к обмотке статора;

$X'_{2\sigma}$  – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;

$I'_2$  – ток обмотки ротора, приведенный к обмотке статора;

$s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$  – скольжение;

$\omega_0 = 2 \cdot p \cdot f_1 / z_p$  – синхронная угловая скорость;

$\omega$  – угловая скорость асинхронного двигателя;

$z_p$  – число пар полюсов;

$f_1$  – значение частоты напряжения переменного тока, подводимого к обмотке статора;

$E_m$  – ЭДС от главного магнитного потока машины;

$E'_2$  – ЭДС обмотки ротора, приведенная к обмотке статора.[2]

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\bar{U}_{1j} - \bar{E}_m - j \cdot X_{1y} \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0 \quad (21)$$

$$\bar{E}_m + j \cdot X'_{2y} \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s = 0 \quad (22)$$

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0 \quad (23)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющая системе уравнений, изображена на рисунке 5.

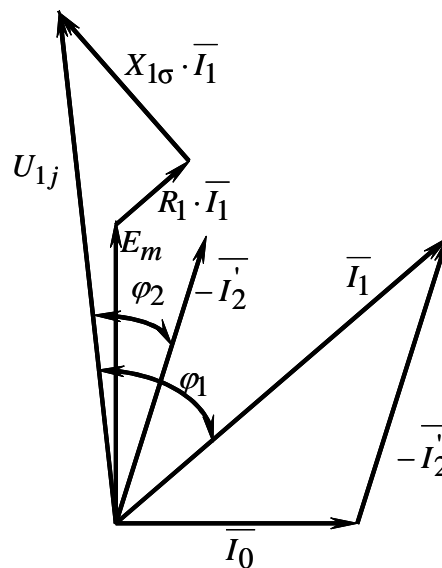


Рисунок 5– Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Номинальный ток статора:

$$I_{1н} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{75000}{3 \cdot 220 \cdot 0,91 \cdot 0,932} = 133,986 \text{ А} \quad (24)$$

Синхронная угловая частота вращения:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \text{ рад/с} \quad (25)$$

Номинальная угловая частота вращения:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,015) \cdot 314,159 = 309,45 \text{ рад/с} \quad (26)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{75000}{309,45} = 242,37 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (27)$$

Современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10–15% меньше номинальной.

Большинство двигателей в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому КПД при номинальной нагрузке и при коэффициенте нагрузки  $p^* = 0,75$  практически равны между собой.

Коэффициент мощности при частичной загрузке:

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_n = 0,98 \cdot 0,91 = 0,89 \quad (28)$$

Ток статора двигателя при частичной загрузке:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 75000}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,932} = 101,505 \text{ А} \quad (29)$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left( \frac{p^* \cdot I_{\phi_n} \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}{1 - \left( \frac{p^* \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}} = \quad (30)$$

$$= \sqrt{\frac{101,505^2 - \left( \frac{0,75 \cdot 133,986 \cdot (1 - 0,015)}{1 - 0,75 \cdot 0,015} \right)^2}{1 - \left( \frac{0,75 \cdot (1 - 0,015)}{1 - 0,75 \cdot 0,015} \right)^2}} = 25,243 \text{ А}$$

Из формулы Клосса определим значение критического скольжения:

$$S_{кр.} = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,015 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - (1 - 2 \cdot 0,015 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,015 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,09 \text{ о.е} \quad (31)$$

Значение коэффициента  $\beta$  находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем  $\beta = 1$ .

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{25,243}{2 \cdot 7,5 \cdot 133,986} = 1,013 \quad (32)$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\partial \partial}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,015)}{2 \cdot 1,013 \cdot 2,9 \cdot 75000} = 0,325 \quad (33)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left( \beta + \frac{1}{S_{кр}} \right) \cdot C_1} = \frac{0,325}{\left( 1 + \frac{1}{0,09} \right) \cdot 1,013} = 0,026 \text{ Ом} \quad (34)$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,013 \cdot 0,026 \cdot 1 = 0,027 \text{ Ом} \quad (35)$$

Параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{кр}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,09^2} - 1^2} = 11,116 \quad (36)$$

Тогда индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{\kappa} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 11,116 \cdot 1,013 \cdot 0,026 = 0,297 \text{ Ом} \quad (37)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_{\kappa}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,297}{1,013} = 0,17 \text{ Ом} \quad (38)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{\kappa} = 0,42 \cdot 0,297 = 0,125 \text{ Ом} \quad (39)$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_{\phi} \cdot \sin \varphi_n + X_1 \cdot I_{\phi n})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,91 - 0,027 \cdot 133,986)^2 + (220 \cdot 0,415 + 0,125 \cdot 133,986)^2} = \\ &= 210,267 \text{ В} \end{aligned} \quad (40)$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{210,267}{25,243} = 8,33 \text{ Ом} \quad (41)$$

Естественная механическая характеристика  $M(s)$  асинхронного двигателя рассчитывается по выражению:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1n}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot [(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}})^2 + X_{\kappa}^2]} \quad (42)$$

Задавая ряд значений  $\omega = 0 \dots \omega_0$  рассчитаем и построим естественную механическую характеристику (рис. 6)



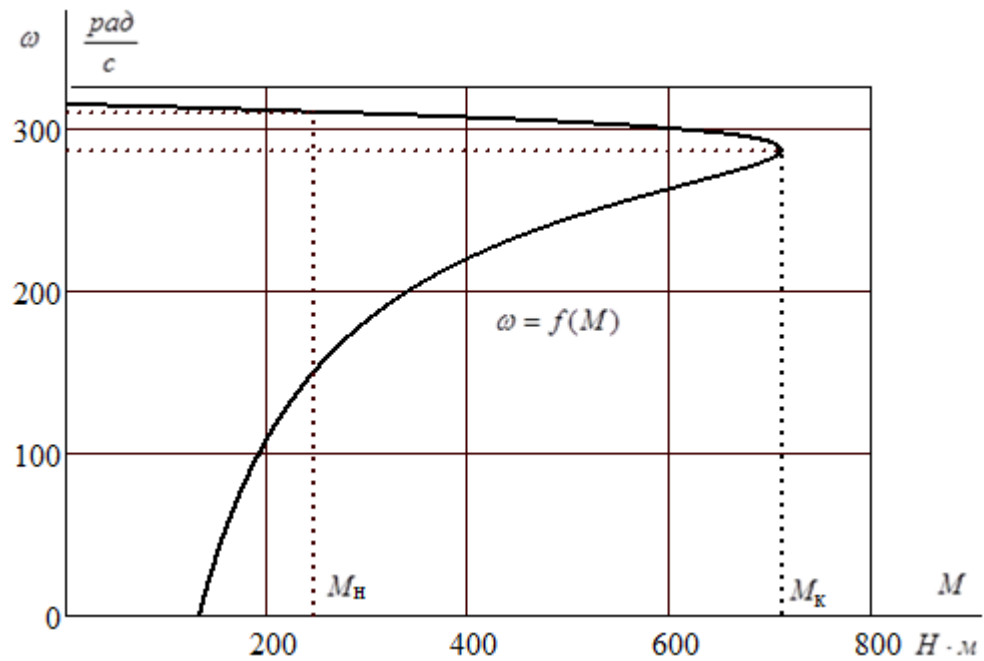


Рисунок 6 – Естественная механическая характеристика и нагрузки

Численные значения механической характеристики сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Численные значения механической характеристики

M	0	248,1 (M <sub>н</sub> )	584,9	711,6 (M <sub>к</sub> )	342,4	193,5	134,057
ω	314,159	309,5	300	285,9	200	100	0

Электромеханические характеристики рассчитываются по выражениям:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin(\omega)}, \quad (43)$$

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1н}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega})^2 + (X_{1н} + X_{2н}')^2}}. \quad (44)$$

Графики электромеханических характеристик  $\omega = f(I_1)$  и  $\omega = f(I_2')$  приведены на рисунках 7 и 8.

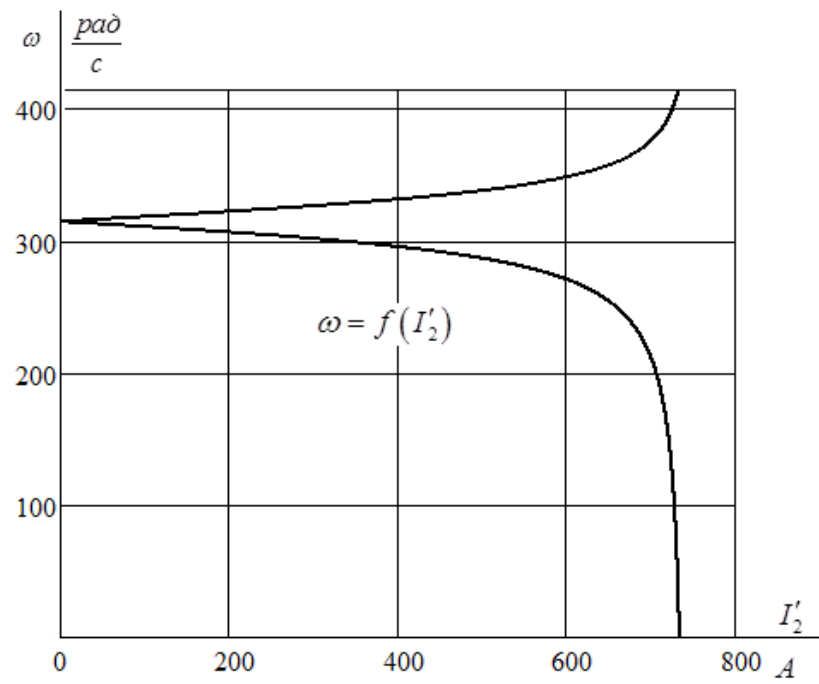


Рисунок 7 – Электромеханическая характеристика  $\omega = f(I'_2)$

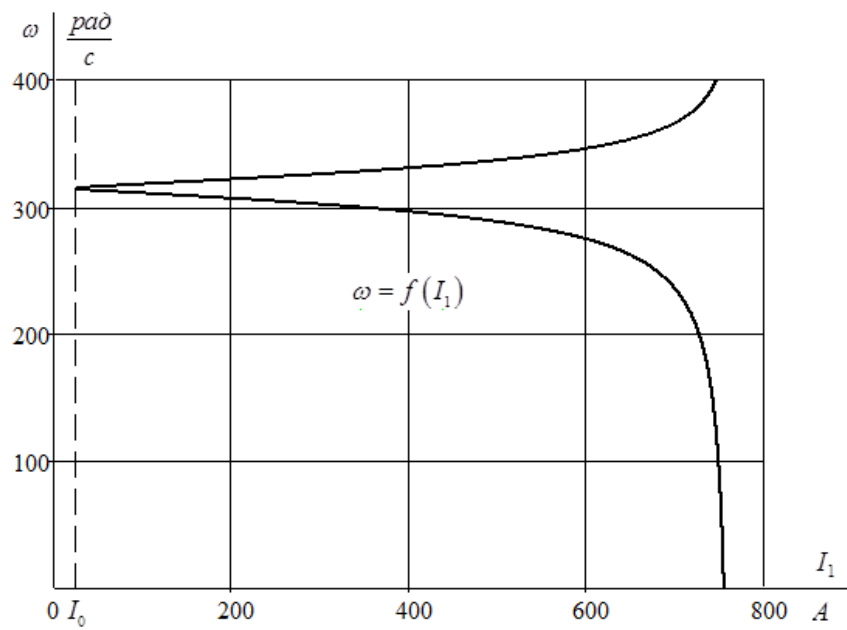


Рисунок 8 – Электромеханическая характеристика  $\omega = f(I_1)$

Численные значения характеристик токов ротора и статора сведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Численные значения характеристики тока ротора и статора

$\omega$	400	314,159	300	200	100	0
$I_1$	747,5	25,243	335,386	728,2	749,9	755,9
$I_2'$	726,5	0	324	707,5	728,9	734,8

Динамическую модель асинхронного двигателя 5A280S2K составим в соответствии с его структурной схемой, и параметрами, рассчитанными ранее.

### 1.6 Моделирование динамической модели короткозамкнутого асинхронного двигателя во вращающейся системе координат

При разработке математической модели асинхронного двигателя считаем, что параметры и переменные, относящиеся к обмоткам ротора, приведены к числу витков обмотки статора.

Состояние многофазной машины переменного тока в стационарном и переходных режимах описывается потокосцеплениями обмоток статора и ротора и угловой скоростью ротора. Потокосцепления являются направленными величинами, вращающимися в плоскости, перпендикулярной оси двигателя. Если считать эту плоскость комплексной, то потокосцепления могут быть представлены векторами:

$$\overline{\Psi}_1 = \overline{I}_1 \cdot L_1 + \overline{I}_2 \cdot L_m \quad (45)$$

$$\overline{\Psi}_2 = \overline{I}_2 \cdot L_2 + \overline{I}_1 \cdot L_m \quad (46)$$

Каждый вектор тока и пропорциональный ему вектор потока равен геометрической сумме компонент, образуемых в отдельных фазах. Для трёхфазной обмотки, оси которой смещены в пространстве на  $120^\circ$ , результирующий вектор тока равен:

$$I = \frac{2}{3} \cdot \left( I_a + I_b \cdot e^{j120^\circ} + I_c \cdot e^{j240^\circ} \right) \quad (47)$$

Токи в фазах можно определить как проекции вектора тока на соответствующие оси обмоток.

В неподвижной системе координат:

$$\overline{U_1} = \overline{I_1} \cdot R_1 + \frac{d\overline{\Psi_1}}{dt} \quad (48)$$

$$\overline{U_2} = \overline{I_2} \cdot R_2 + \frac{d\overline{\Psi_2}}{dt} \quad (49)$$

Во вращающейся системе координат:

$$\overline{U_1} = \overline{I_1} \cdot R_1 + \frac{d\overline{\Psi_1}}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \overline{\Psi_1} \quad (50)$$

$$\overline{U_2} = \overline{I_2} \cdot R_2 + \frac{d\overline{\Psi_2}}{dt} + j \cdot (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \overline{\Psi_2} \quad (51)$$

Из уравнений (45) и (46) выразим:

$$\overline{I_2} = \frac{1}{L_2} \cdot \overline{\Psi_2} - \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{I_1} \quad (52)$$

$$\overline{\Psi_1} = \overline{I_1} \cdot L'_1 + \overline{\Psi_2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \quad (53)$$

С учётом (53) уравнение (50) примет вид:

$$\begin{aligned} \overline{U_1} = & (R' + p \cdot L'_1) \cdot \overline{I_1} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{\Psi_2} - j \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \overline{\Psi_2} + \\ & + j \cdot \omega_k \cdot \left( L'_1 \cdot \overline{I_1} + \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{\Psi_2} \right) \end{aligned} \quad (54)$$

Выражая векторы через составляющие по осям x, jy вращающейся системы координат, т.е. выделяя вещественную и мнимую части, имеем:

$$\overline{U_{1x}} = (R' + p \cdot L'_1) \cdot \overline{I_{1x}} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{\Psi_{2x}} - L'_1 \cdot \omega_k \cdot \overline{I_{1y}} - z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \omega \cdot \overline{\Psi_{2y}} \quad (55)$$

$$\overline{U_{1y}} = (R' + p \cdot L'_1) \cdot \overline{I_{1y}} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \overline{\Psi_{2y}} + L'_1 \cdot \omega_k \cdot \overline{I_{1x}} + z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \omega \cdot \overline{\Psi_{2x}} \quad (56)$$

Так как  $U = e_{\partial s} + i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$ , поэтому в формулах (55) и (56) можно

выделить соответствующие внутренние ЭДС двигателя по осям  $x$  и  $y$ :

$$e_{\partial sx} = -[R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \bar{\Psi}_{2x} - L_1' \cdot \omega_k \cdot \bar{I}_{1y} - z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \omega \cdot \bar{\Psi}_{2y}] \quad (57)$$

$$e_{\partial sy} = -[R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \bar{\Psi}_{2y} + L_1' \cdot \omega_k \cdot \bar{I}_{1x} + z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \omega \cdot \bar{\Psi}_{2x}] \quad (58)$$

Подставив (52) в (51), получим:

$$\bar{U}_2 = (\frac{R_2}{L_2} + p) \cdot \bar{\Psi}_2 - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot \bar{I}_1 + j \cdot (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \bar{\Psi}_2 \quad (59)$$

Раскладывая вектор на скаляры в системе  $x, jy$ , получим:

$$U_{2x} = (\frac{R_2}{L_2} + p) \cdot \Psi_{2x} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1x} - j \cdot (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2y} \quad (60)$$

$$U_{2y} = (\frac{R_2}{L_2} + p) \cdot \Psi_{2y} - R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1y} + j \cdot (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2x} \quad (61)$$

Уравнения (55,56) и (60,61) – уравнения электрического равновесия цепей статора и ротора – дополним их уравнением электромагнитного момента (62) и уравнением движения (63):

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot (\Psi_{2x} \cdot I_{1y} - \Psi_{2y} \cdot I_{1x}) \quad (62)$$

$$M - M_C = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (63)$$

Уравнения, представленные выше позволяют построить математическую модель асинхронной машины в общем случае в системе координат, вращающейся с произвольной скоростью  $\omega_k$ . Для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором  $U_{2x} = U_{2y} = 0$ .

Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором может быть реализована либо путём численного решения

дифференциальных уравнений, либо путём имитационного моделирования по структурной схеме.

Система дифференциальных уравнений в системе координат, вращающейся с произвольной скоростью  $\omega_k$ , имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dI_{1x}}{dt} &= \frac{1}{L'_1} \cdot U_{1x} - \frac{R'}{L'_1} \cdot I_{1x} + \frac{R_2}{L'_1} \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2x} + \omega_k \cdot I_{1y} + \frac{L_m}{L'_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2y} \\ \frac{dI_{1y}}{dt} &= \frac{1}{L'_1} \cdot U_{1y} - \frac{R'}{L'_1} \cdot I_{1y} + \frac{R_2}{L'_1} \cdot \frac{L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2y} - \omega_k \cdot I_{1x} - \frac{L_m}{L'_1 \cdot L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2x} \\ \frac{d\Psi_{2x}}{dt} &= -\frac{R_2}{L_2} \cdot \Psi_{2x} + R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1x} + (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2y} \\ \frac{d\Psi_{2y}}{dt} &= -\frac{R_2}{L_2} \cdot \Psi_{2y} + R_2 \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot I_{1y} - (\omega_k - z_p \cdot \omega) \cdot \Psi_{2x} \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} \cdot \left[ \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p (\Psi_{2x} \cdot I_{1y} - \Psi_{2y} \cdot I_{1x}) - M_c \right] \end{aligned} \right\} \quad (64)$$

При  $\omega_k=0$  система (64) представляет собой математическую модель АД в неподвижной системе координат.

Так как параметры схемы замещения асинхронного двигателя найдены с помощью методики, допускающей определенную погрешность, то для окончательной проверки правильности их нахождения, проверим асинхронный электропривод в динамике. Моделирование электропривода, выполненного по системе «Преобразователь частоты - асинхронный двигатель» будем производить в абсолютных единицах, так как современные программные средства для численных вычислений, расчетов и математического моделирования, например, MATLAB позволяют автоматически устанавливать масштаб моделирования независимо от мощности двигателя или его параметров.

Схема имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде MATLAB-Simulink с демультиплексором вывода параметров приведена на рисунке 9.

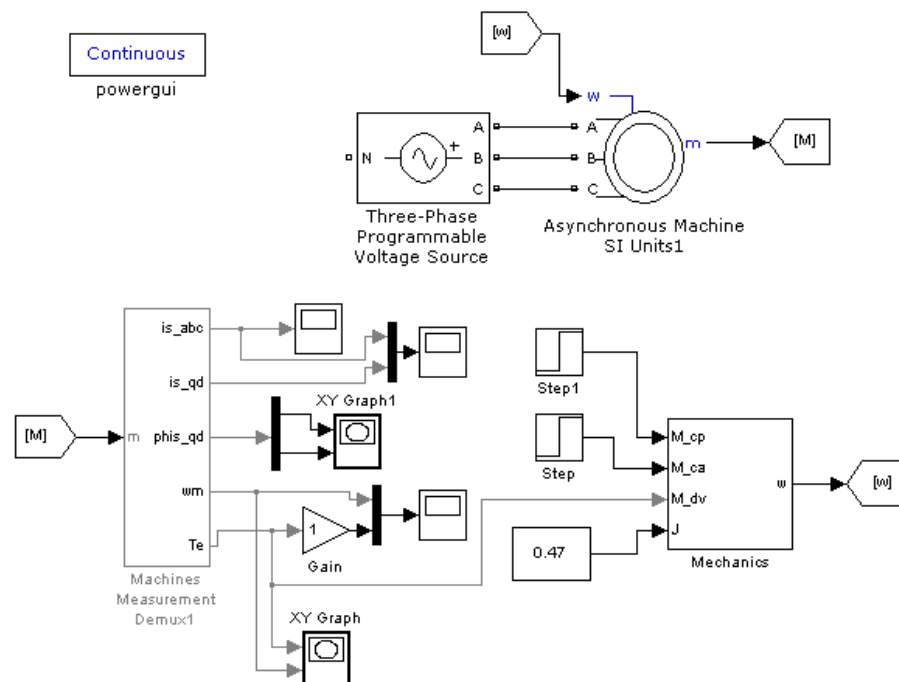


Рисунок 9 – Схема имитационной модели асинхронного двигателя в программной среде MATLAB-Simulink с демультиплексором вывода параметров

Ввод параметров схемы замещения асинхронного двигателя произведен через диалоговое окно (рис. 10), которое вызывается двойным щелчком по изображению двигателя.

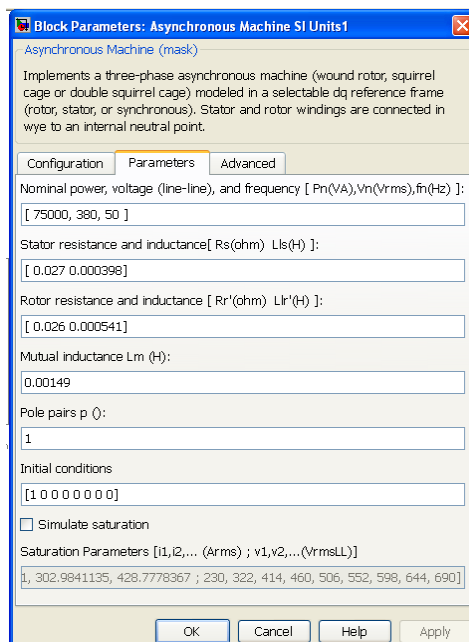


Рисунок 10 – Окно ввода параметров схемы

Переходные процессы, полученные при моделировании показаны на рисунке 11.

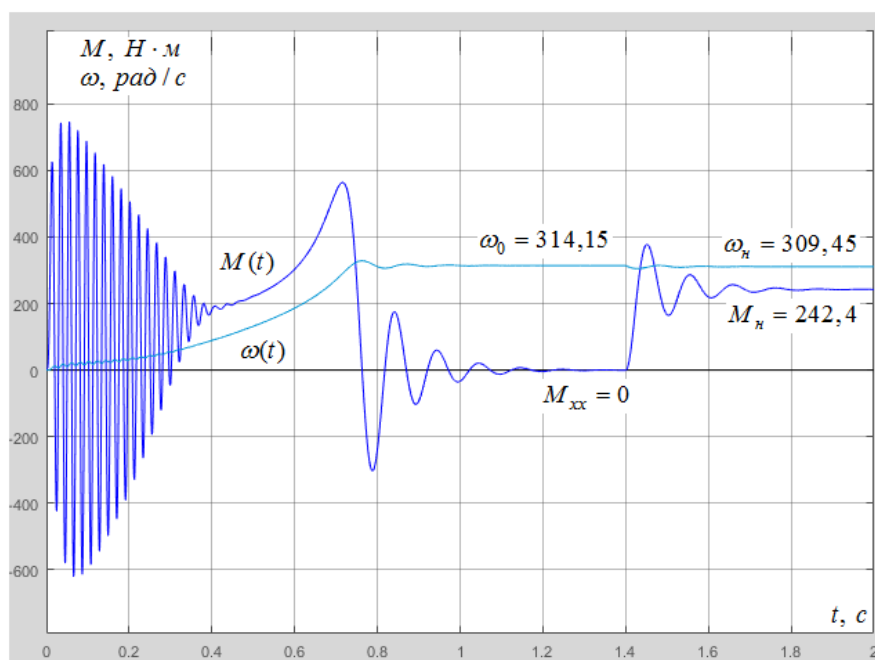


Рисунок 11 – Переходные процессы электромагнитного момента и скорости при пуске и набросе нагрузки

Как видно из графика переходных процессов, выбранный двигатель обеспечивает устойчивую работу при номинальной нагрузке и рассчитанных параметрах.

### 1.7 Выбор преобразователя частоты

Регулирование скорости вращения асинхронного электродвигателя в с использованием преобразователя частоты производится путем изменения частоты и величины напряжения питания двигателя. КПД такого преобразования составляет около 98 %, из сети потребляется практически только активная составляющая тока нагрузки, микропроцессорная система управления обеспечивает высокое качество управления электродвигателем и контролирует множество его параметров, предотвращая возможность развития аварийных ситуаций.



На рисунке показан состав силовой части такого преобразователя: входной неуправляемый выпрямитель - звено постоянного тока с LC-фильтром - автономный инвертор напряжения с ШИМ.

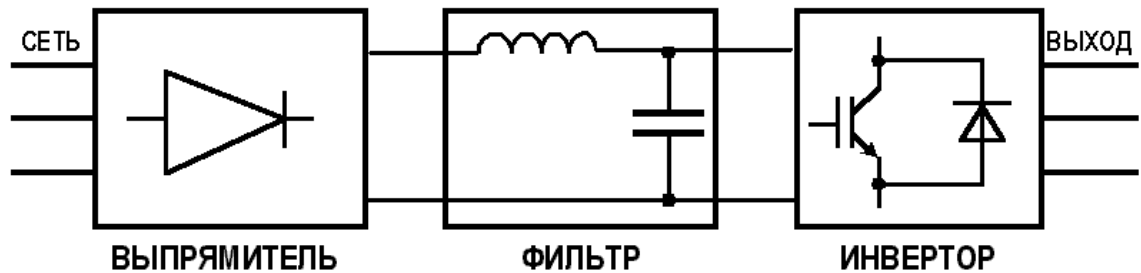


Рисунок 12 – Силовая часть преобразователя частоты

Регулирования частоты вращения АД изменением частоты и напряжения следует из математического представления механической характеристики АД, т.е. при изменении частоты питающей сети, мы можем изменять критический момент АД и получать, тем самым, искусственные характеристики. Критическое скольжение АД и его синхронная скорость в свою очередь зависят от частоты питающей сети двигателя.

Следовательно, для определённой частоты будет своя синхронная скорость и напряжение согласно закону управления  $\frac{U}{f} = const$ .

Преобразователь выбирается по номинальному (длительно допустимому) току  $I_{ин}$  и максимальному (кратковременно допустимому) току  $I_{и.макс}$  а так же по мощности двигателя и напряжению питающей сети.

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1н} = \frac{P_{дв.ном}}{3 \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{75000}{3 \cdot 220 \cdot 0,91 \cdot 0,932} = 133,986 \text{ А} \quad (65)$$

Выбираем преобразователь частоты фирмы Danfoss, параметры которого представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры преобразователя частоты

Тип	Параметры питающей сети		Выходное напряжение $U_H$ , В	Выходная частота $f_H$ , Гц	Выходной ток		Рекомендуемая мощность двигателя $P_2$ , кВт
	$U_{лн}$ , В	$f_c$ , Гц			$I_{ин}$ , А	$I_{и.макс}$ , А	
VLT5102 «Danfoss»	3x380	50	380	0÷132	147	162	75

Для механизма подъема геофизического прибора, работающего с небольшим диапазоном регулирования скорости и не требующего высокого качества переходных процессов, наиболее целесообразно применять асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, получающие питание от преобразователя частоты со скалярной системой управления.[6]

### 1.7.1 Выбор несущей частоты инвертора

Выбор несущей частоты инвертора  $f_{шим}$  осуществляется в соответствии с рекомендациями фирмы производителя для выбранного типа преобразователя с учетом фактического тока загрузки. Если для выбранного преобразователя частоты отсутствуют рекомендации по выбору несущей частоты, то для её выбора можно воспользоваться приведенными на рис. 13 обобщенными зависимостями несущей частоты для преобразователей малой и средней мощности. Рекомендуемое максимальное значение несущей частоты зависит от номинальной выходной мощности преобразователя и фактического тока загрузки инвертора при максимальной нагрузке привода.

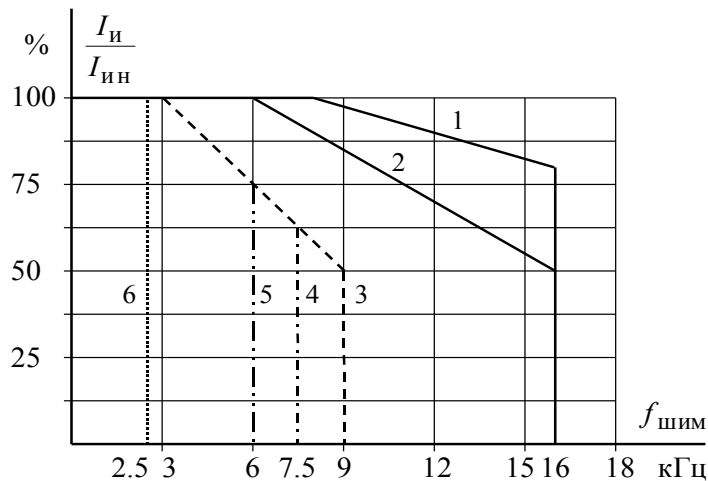


Рисунок 13 – Зависимости максимального значения несущей частоты инвертора от номинальной выходной мощности и загрузки преобразователя

На рисунке 13 характеристики: 1 – до 3 кВт; 2 – до 55 кВт; 3 – до 90 кВт; 4 – до 132 кВт; 5 – до 250 кВт; 6 – до 900 кВт.

Отношение длительно допустимого тока к номинальному выходному току преобразователя:

$$\frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{нн}}} \cdot 100\% = 90\% \quad (66)$$

Принимаем несущую частоту инвертора:  $f_{\text{шм}} = 4,5 \text{ кГц}$ .

## 1.8 Искусственные статические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1 = \text{const}$

Механические характеристики  $\omega(M)$  разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования  $U_1/f_1 = \text{const}$  (рис. 14), для ряда выбранных значений выходной частоты инвертора в интервале от  $f_{\text{и.мин}} = 6,1 \text{ Гц}$  до  $f_{\text{и.макс}} = 45,3 \text{ Гц}$  рассчитываются по выражениям:

$$\omega(s, f_1) = \omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \cdot (1-s); \quad (67)$$

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[ \left( X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left( \frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} \quad (68)$$

$$U_1(f_1) = U_{1\phi H} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1H}} \right) = 220 \cdot \left( \frac{f_1}{50} \right). \quad (69)$$

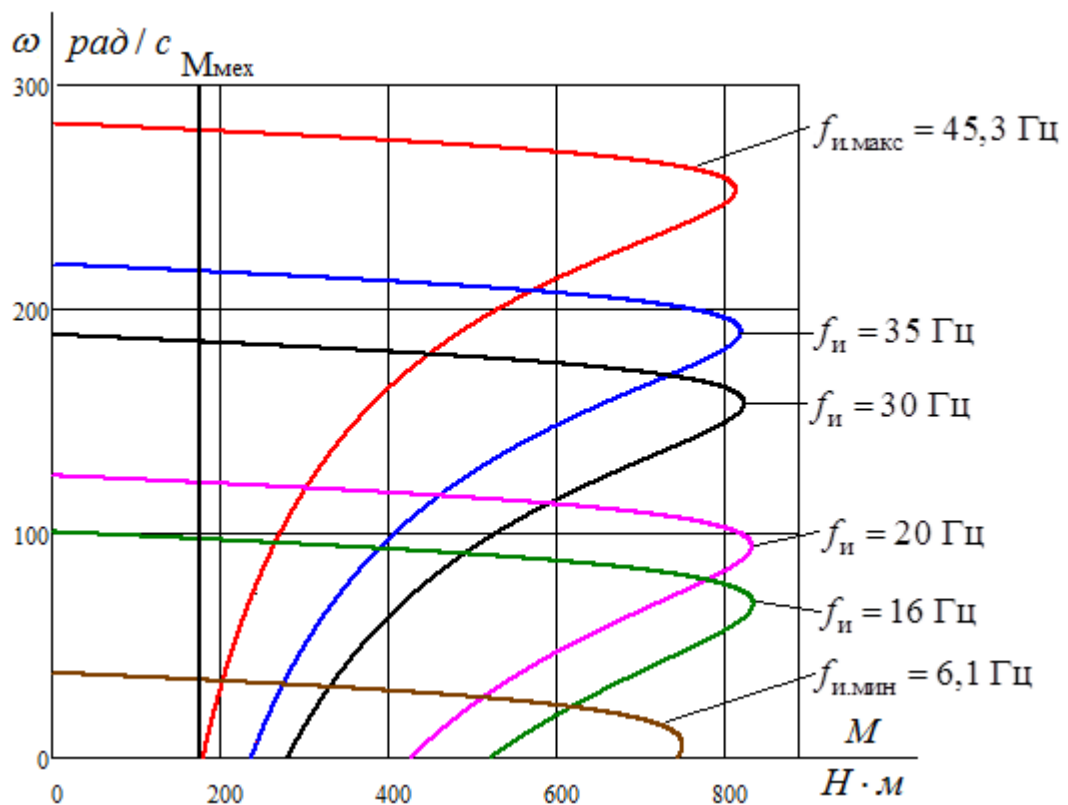


Рисунок 14 – Механические характеристики  $\omega(M)$  системы преобразователь – двигатель

при законе регулирования  $U_1/f_1 = \text{const}$

Электро-механические характеристики  $\omega(I_1)$  разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)} \quad (70)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}}; \quad (71)$$

$$I_2'(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}}; \quad (72)$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}}; \quad (73)$$

По результатам расчета построено семейство электромеханических характеристик  $\omega(I_1)$  системы преобразователь-двигатель (рис.15).

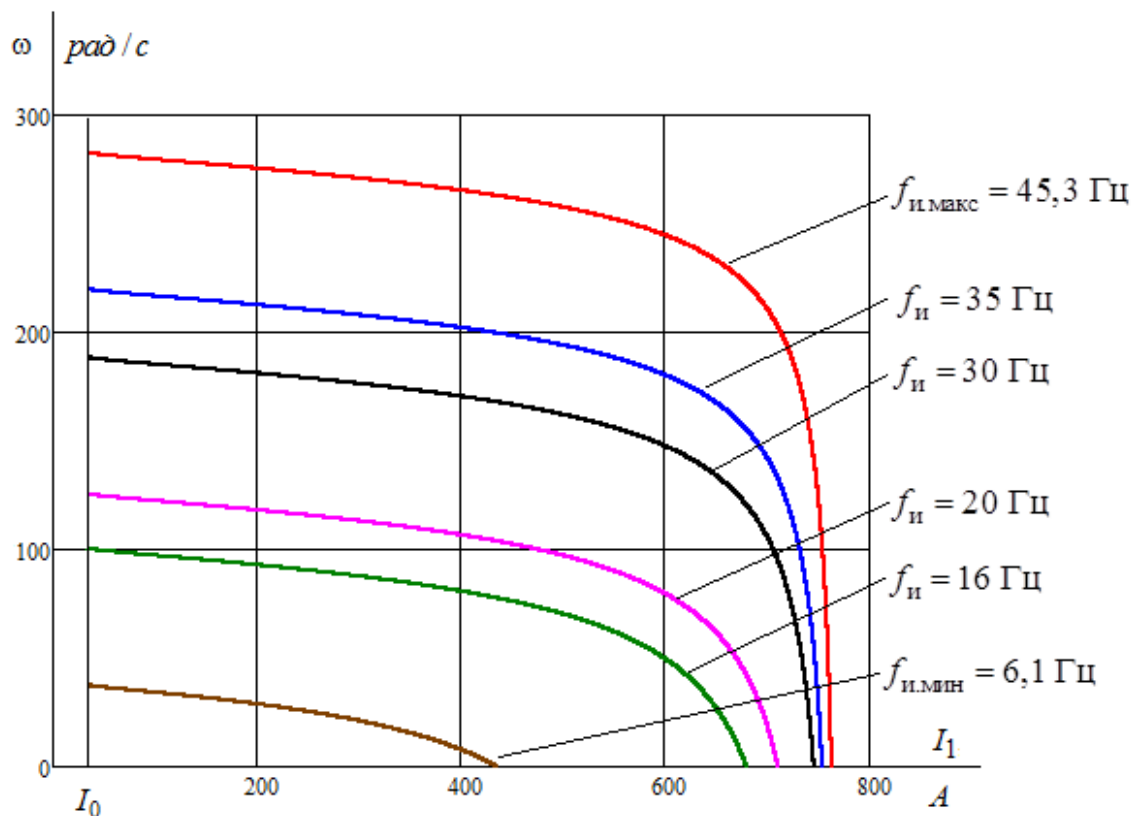


Рисунок 15 – Электромеханические характеристики электропривода  $\omega(I_1)$  при законе регулирования  $U_1/f_1 = \text{const}$

По построенным механическим и электромеханическим характеристикам видно, что в заданном интервале частот электропривод обеспечивает необходимый максимальный момент статической нагрузки. Очевидно для данного случая не следует производить IR-компенсацию.

## 1.9 Моделирование скалярной системы управления

Структура частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением и IR-компенсацией представлена на рисунке 16.

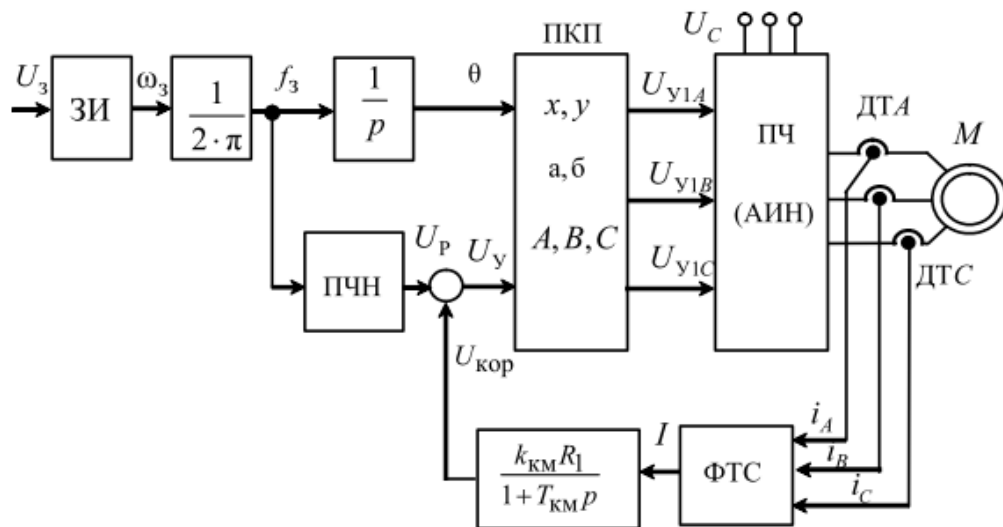


Рисунок 16 – Структура асинхронного электропривода со скалярным управлением и IR-компенсацией

**ЗИ** – задатчик интенсивности формирует кривую и темп разгона двигателя;

**ПЧН** – блок «преобразователь частота – напряжение» формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливает один из принятых способов частотного регулирования;

**ПКП** – прямой координатный преобразователь, на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления  $U_{y1A}$ ,  $U_{y1B}$ ,  $U_{y1C}$ , сдвинутые относительно друг друга на угол  $\pm 2\pi/3$ , с амплитудами, пропорциональными напряжению управления;

**АИН** – автономный инвертор, на выходе которого сигналы  $U_{y1A}$ ,  $U_{y1B}$ ,  $U_{y1C}$  формируют фазные напряжения;

**ФТС** – формирователь тока статора, необходим для коррекции тока статора и создания корректирующего напряжения;

**ДТС** – датчик тока статора.

Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением без IR-компенсации в программной среде MATLAB Simulink представлена на рисунке 17.

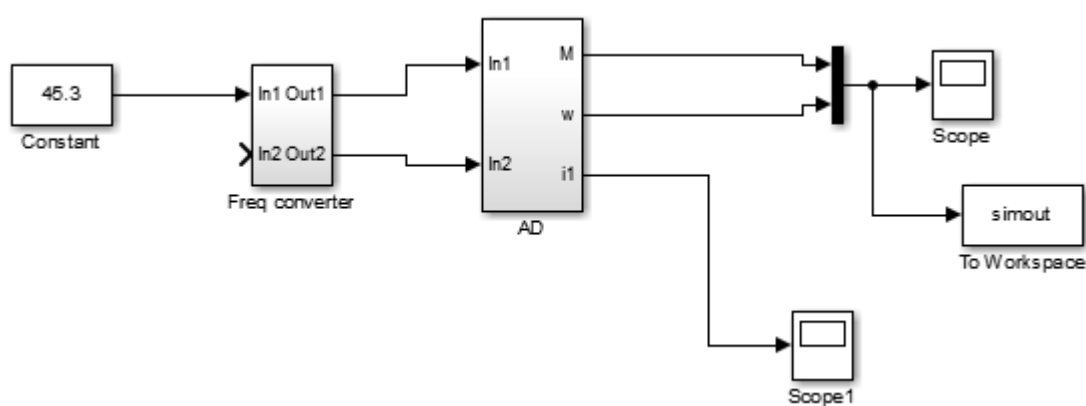


Рисунок 17 – Имитационная модель асинхронного электропривода со скалярным управлением без IR-компенсации

Имитационная модель асинхронного двигателя (подсистема «AD») с вычислением тока статора по формуле (74) и представлена на рисунке 18:

$$I_1 = \frac{\sqrt{i_{1\alpha}^2 + i_{1\beta}^2}}{\sqrt{2}} \quad (74)$$

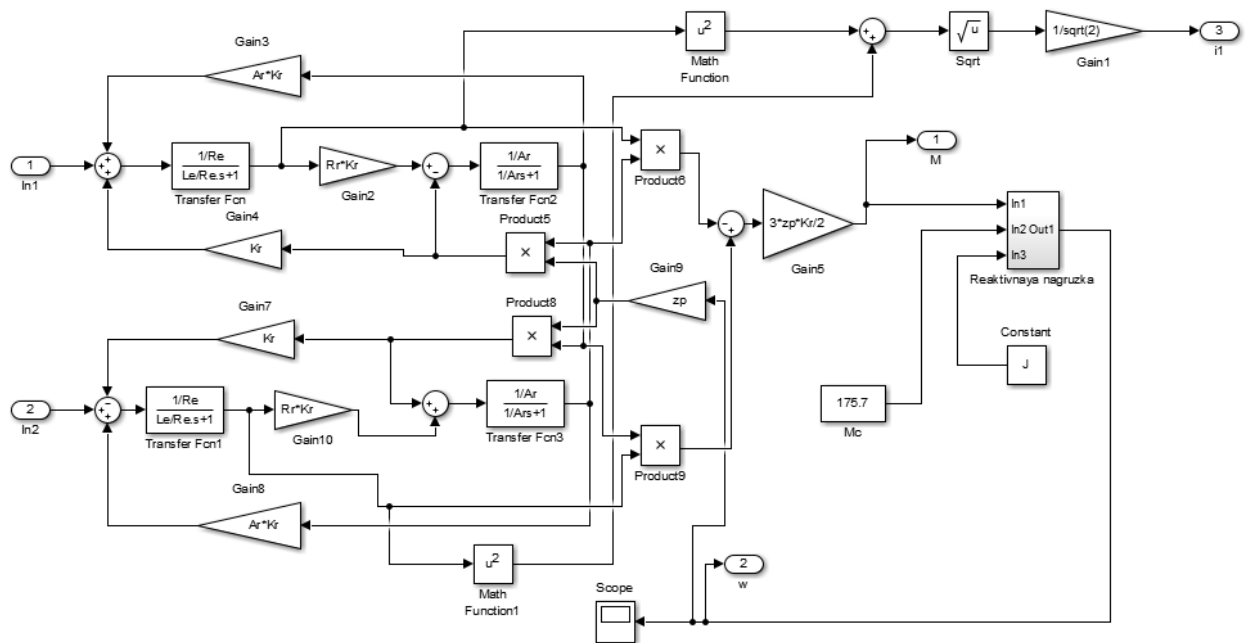


Рисунок 18 – Имитационная модель асинхронного двигателя  
с вычислением тока статора

Имитационная модель преобразователя частоты (подсистема «Freq converter») представлена на рисунке 19.

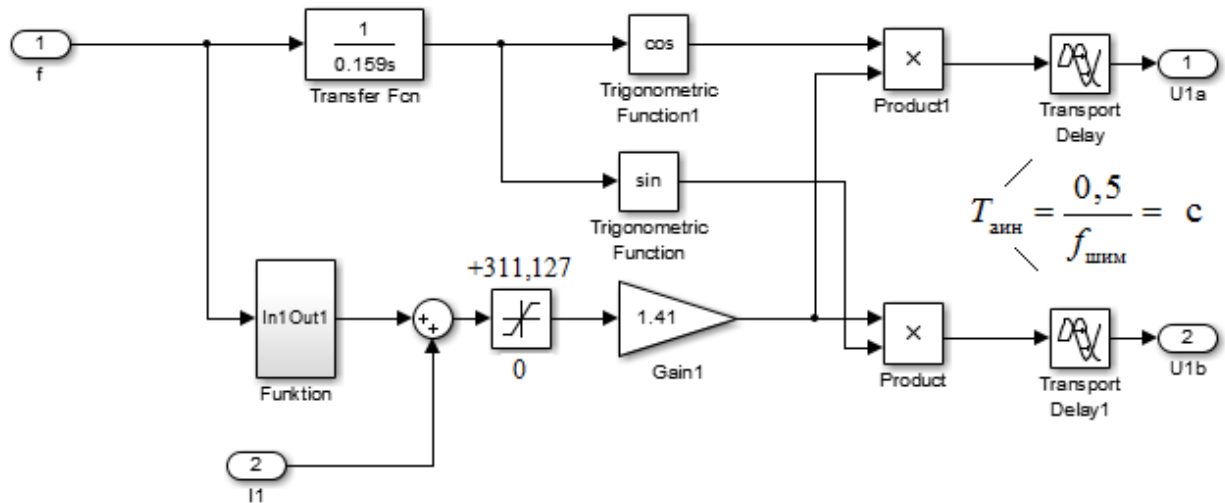


Рисунок 19 – Имитационная модель преобразователя частоты

Подсистема «Function» реализует закон управления (75) и представлена на рисунке 20:



$$U_1(f_1) = U_{1\phi_H} \cdot \left( \frac{f_1}{f_{1H}} \right) = 220 \cdot \left( \frac{f_1}{50} \right) = 4,4 \cdot f_1 = \text{const} \quad (75)$$

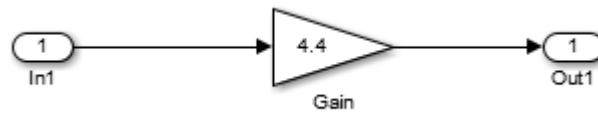


Рисунок 20 – Подсистема «Function»

Переходные процессы в системе скалярного управления при наибольшей и наименьшей частотах преобразователя представлены на рисунках 21-24.

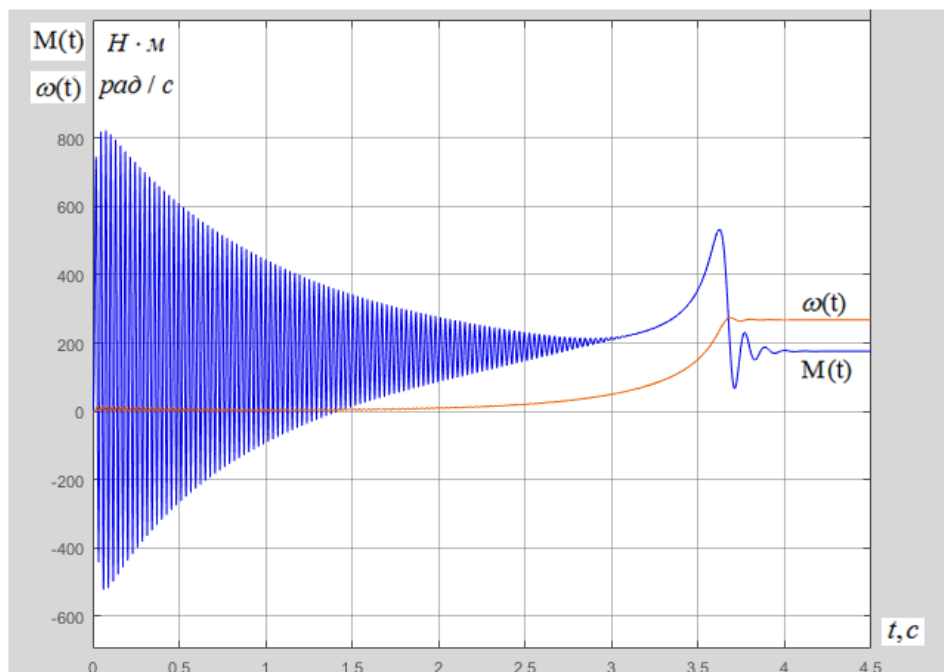


Рисунок 21 – Переходные процессы скорости и момента при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f=\text{const}$  при значении частоты  $f=45,3$  Гц

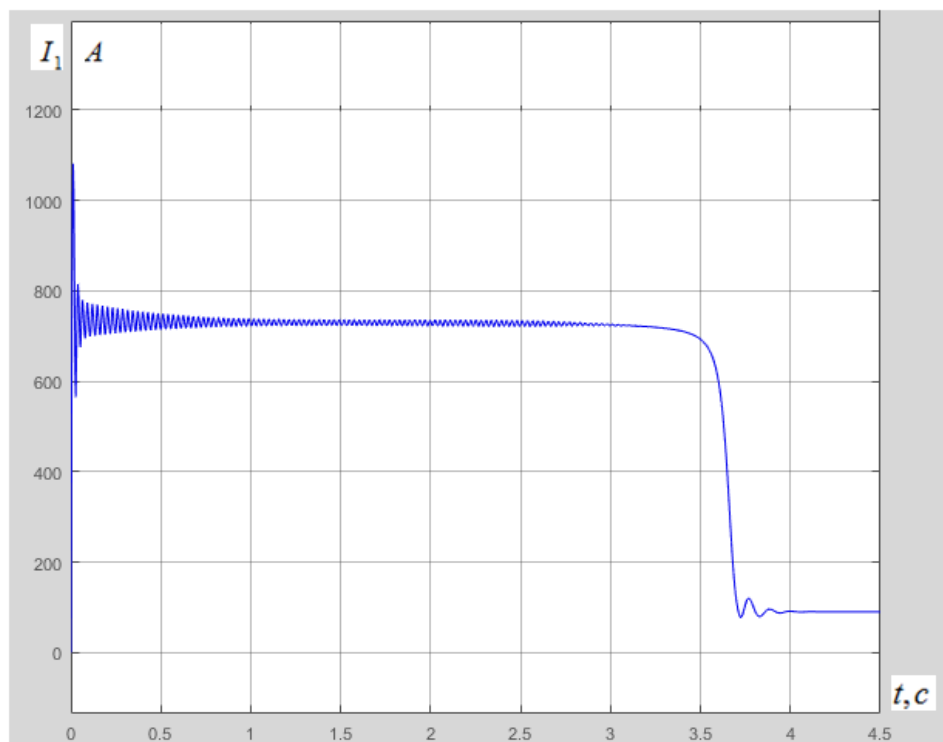


Рисунок 22 – Переходные процессы по току при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f=\text{const}$  при значении частоты  $f=45,3$  Гц

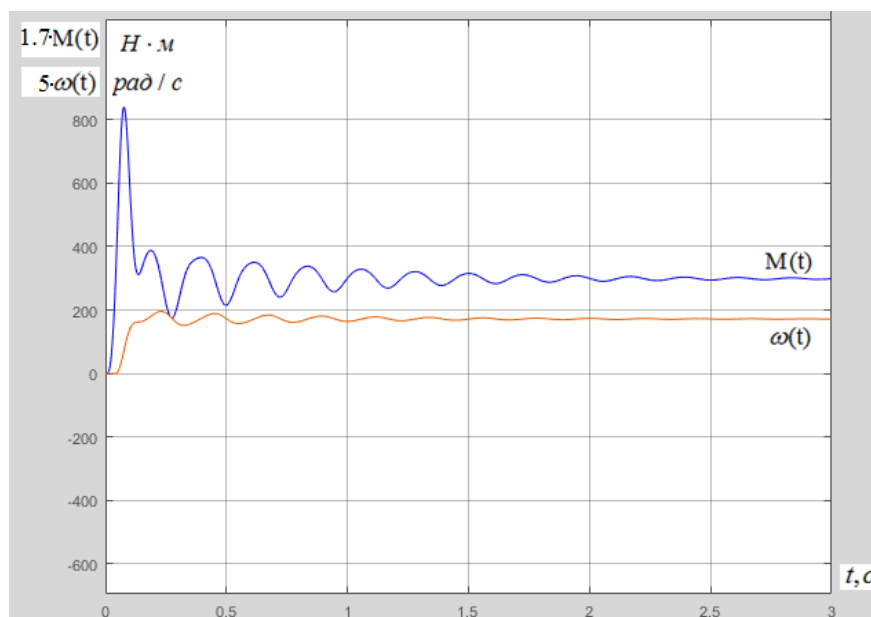


Рисунок 23 – Переходные процессы скорости и момента при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f=\text{const}$  при значении частоты  $f=6,1$  Гц

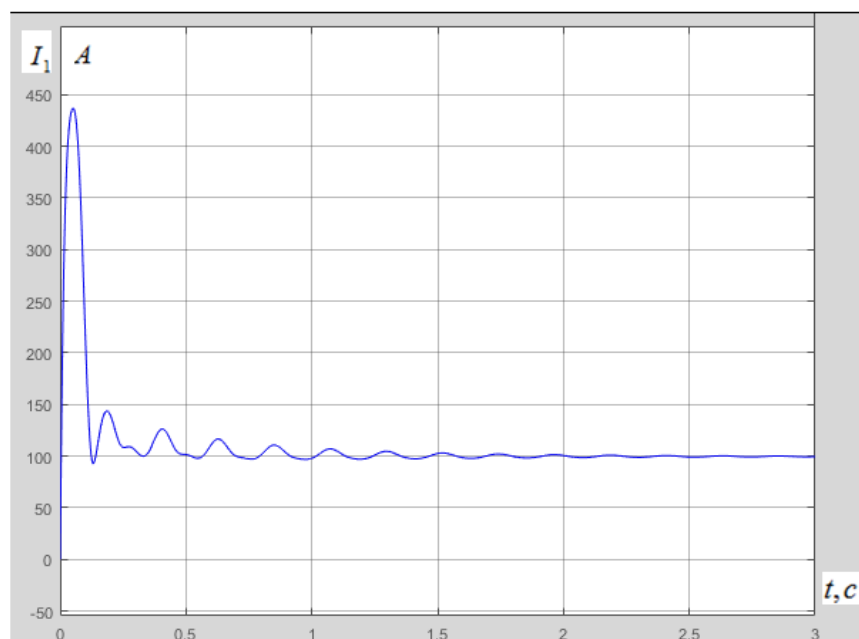


Рисунок 24 – Переходные процессы по току при пуске электропривода с частотным законом регулирования скорости  $U/f=\text{const}$  при значении частоты  $f=6,1$  Гц

По графикам, полученным в результате моделирования видно, что при изменении частоты в заданном интервале, для обеспечения требуемого диапазона регулирования обеспечивается необходимый момент статической нагрузки при устойчивой работе электропривода.

### 1.10 Моделирование скалярной системы управления с задатчиком интенсивности

Имеющуюся модель скалярного управления необходимо дополнить задатчиком интенсивности на входе системы – для осуществления плавного пуска, так как для технологического процесса это необходимо. Схема имитационной модели представлена на рисунке 25.

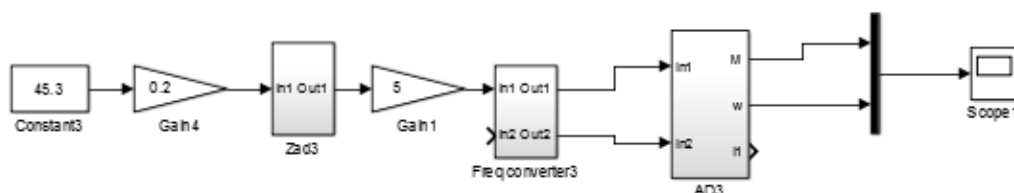


Рисунок 25 – Схема имитационной модели скалярной системы управления с задатчиком интенсивности в программной среде Simulink

Для работы данной схемы следует сформировать временную характеристику, с помощью которой обеспечивается требуемая плавность регулирования. На рисунке 26 представлена S-образная характеристика.

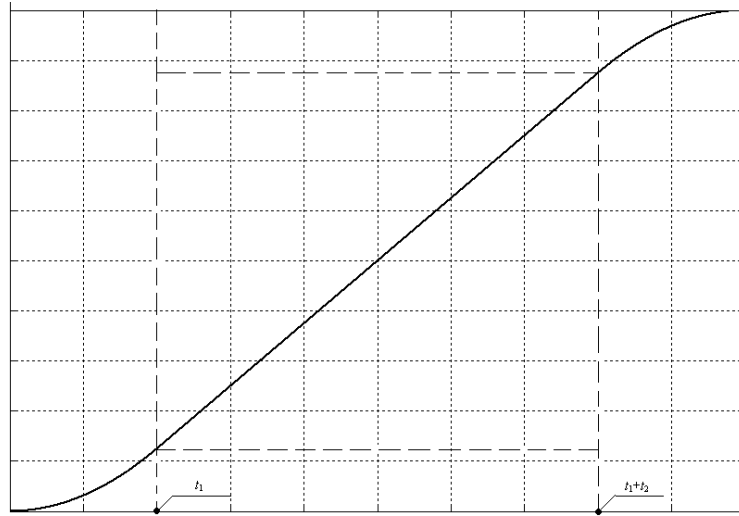


Рисунок 26 – Временная характеристика задатчика с S-образной характеристикой

Имитационная модель S-образного задатчика интенсивности представлена на рисунке 27.

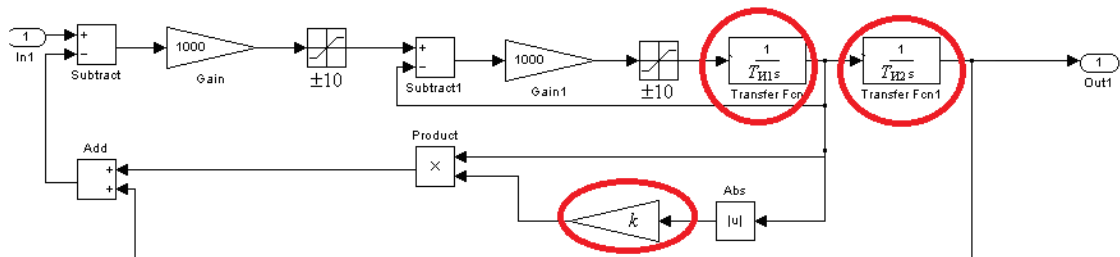


Рисунок 27 – Имитационная модель S-образного задатчика интенсивности

Параметры задатчика интенсивности:

$$T_{И1} = t_1, T_{И2} = t_1 + t_2, k = 0,05 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2} = 0,0125, \quad (76)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  подбираются по требуемому промежутку времени.

Получим графики переходных процессов при изменении частоты инвертора в заданном ранее диапазоне при изменении суммы  $t_1 + t_2$ , которая будет равна четырем, шести и восьми секундам.

Графики переходных процессов представлены ниже на рисунках 28-29.

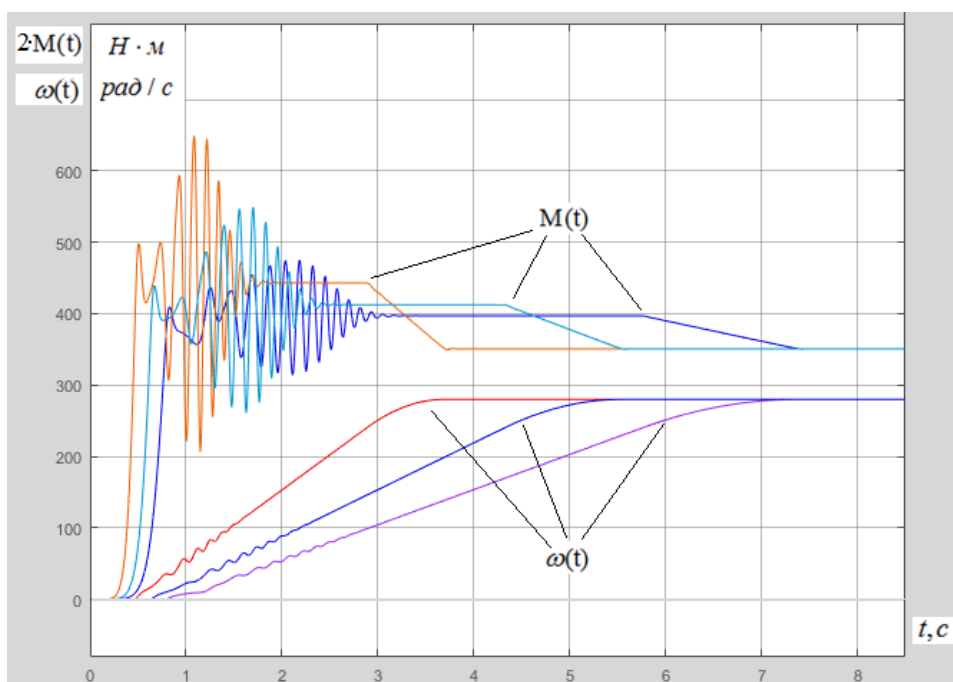


Рисунок 28 – Переходные процессы по скорости и моменту при пуске электропривода с задатчиком интенсивности при сумме  $t_1 + t_2$  равной 4-м, 6-ти и 8-ти секундам при значении частоты  $f=45,3$  Гц.

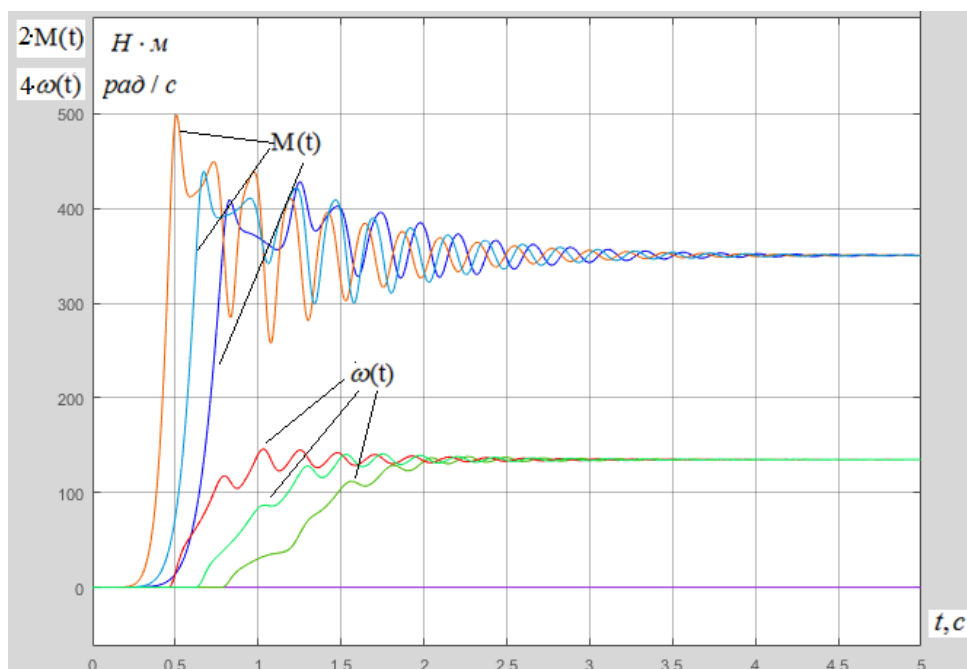


Рисунок 29 – Переходные процессы по скорости и моменту при пуске электропривода с задатчиком интенсивности при сумме  $t_1 + t_2$  равной 4-м, 6-ти и 8-ти секундам при значении частоты  $f=6,1$  Гц

Таким образом, при использовании задатчика интенсивности добились плавности регулирования согласно заданному времени. При этом обеспечивается требуемый момент статической нагрузки на всем заданном диапазоне частот.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГЗБ	Янчуку Вадиму Сергеевичу

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭПЭО</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов проекта: энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклады: – Инженера – 17 000 руб. – Руководителя – 26300 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент 30%; коэффициент доплат и надбавок 20%; коэффициент дополнительной заработной платы 15%; коэффициент, учитывающий накладные расходы 16%; районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент, учитывающий отчисления во внебюджетные фонды 27,1 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала проекта</i>	Анализ потребителей результатов исследования Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета затрат на проектирование</i>	Определение трудоемкости выполнения работ. Разработка плана и графика выполнения проекта (графика Ганта). Формирование бюджета затрат на проектирование: заработная плата (основная и дополнительная), отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы, амортизационные отчисления.
3. <b>Графический материал:</b>	

*Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений*

*Календарный план-график проведения исследования*

*Бюджет затрат НТИ*

--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>_____ . 2017 г.</b>
---	------------------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5ГЗБ	Янчук Вадим Сергеевич		

## **2 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Научно-исследовательская работа посвящена исследованию асинхронного электропривода механизма подъема геофизического прибора. Актуальность рассматриваемой темы определяется тем, что в настоящее время во всех видах производства большое количество проектов направлены на снижение потребления электроэнергии. В работе осуществлено использование асинхронного электродвигателя взамен двигателю постоянного тока, что значительно снижает потребление энергии и расходы на дополнительное оборудование.

Основной целью раздела является расчет экономических показателей разработки проекта по разработке асинхронного электропривода механизма подъема геофизического прибора. Анализ проводится с точки зрения финансового менеджмента и теории управления организацией и производством.

Чтобы достичь поставленной цели необходимо решить следующие задачи: оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований, произвести планирование научно-исследовательских работ, определить бюджет научного проекта.

Данное научное исследование имеет коммерческий потенциал, который заключается в снижении себестоимости продукта за счет введения инновационных методов.

Потенциальными потребителями результатов исследования являются предприятия нефтяной и газовой промышленности, в которых ведётся изучение геологических разрезов скважин.



## 2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности

### 2.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Конкуренция служит важнейшим способом повышения эффективности, как целой экономической системы, так и всех ее звеньев. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Использование асинхронного электродвигателя значительно снижает потребление энергии и это позволяет конкурировать с двигателем постоянного тока.

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты (таблица 6), в которой рассматриваются исследуемый двигатель и двигатель постоянного тока.

Таблица 6. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес	Баллы		Конкуренто- способность	
		Исследуемый двигатель	ДПТ	Исследуемый двигатель	ДПТ
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Простота в эксплуатации	0,15	5	4	0,75	0,6
Завышение мощности	0,15	3	4	0,45	0,6

Продолжение таблицы 6

Габариты	0,15	5	1	0,75	0,15
Надежность	0,2	5	2	1	0,4
Возможность подключения в сеть переменного тока	0,15	5	1	0,75	0,15
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности					
Конкурентоспособность	0,05	2	1	0,1	0,05
Уровень проникновения на рынок	0,05	3	4	0,15	0,2
Цена	0,1	5	2	1	0,2
Итого	1	33	19	4,95	2,35

По результатам оценочной карты можно убедиться, что в сравнении с конкурирующим двигателем, исследуемый является эффективней по техническим и экономическим критериям. Преимуществами является питание от сети переменного тока, высокая надежность и меньшая стоимость.

## 2.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В реализации данного проекта участвовало два исполнителя – руководитель (Р) и инженер (И). Разделение выполнения данного проекта на этапы представлено в таблице 7.

Таблица 7. Перечень этапов, работ и распределение обязанностей между участниками проекта

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя	Загрузка
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Р	100%
Выбор направления исследования	2	Изучение исходных данных и материалов по тематике	И	100%
	3	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	И	100%
	4	Календарное планирование работ	Р	50%
			И	50%
Теоретические исследования	5	Разработка структурной и функциональной схем	Р	50%
			И	50%
	6	Разработка кинематической схемы установки	И	100%

Продолжение таблицы 7

	7	Получение механических и электромеханических характеристик	И	100%
	8	Исследования с помощью программных обеспечений MATLAB и WINDORA	Р	50%
			И	50%
Оформление отчёта по НИР	9	Составление пояснительной записки	И	100%

### 2.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для построения диаграммы Ганта, необходимо перевести длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные. Для этого рассчитываем коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (77)$$

где  $T_{\text{кал}}, T_{\text{вых}}, T_{\text{пр}}$  – количество календарных, выходных и праздничных дней в году.

Подставляя численные значения в формулу (77), получаем:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48. \quad (78)$$

Временные показатели проведения научного исследования для первого этапа работы рассчитаны ниже, для остальных этапов расчет производится аналогично.

Определим ожидаемое (среднее) значение трудоёмкости  $t_{ожі}$  по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (79)$$

где  $t_{ожі}, t_{\min i}, t_{\max i}$  – ожидаемая, минимально возможная и максимально возможная трудоёмкости выполнения  $i$ -ой работы (чел.-дн.).

Так как исполнители работали одновременно, то минимально и максимально возможную, а также ожидаемую трудоёмкость учитываем общими для исполнителей.

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел. – дн.} \quad (80)$$

Продолжительность каждой работы в рабочих днях вычисляется как:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{C_i}, \quad (81)$$

где  $C_i$  – численность исполнителей, которые выполняют одну и ту же работу на данном этапе одновременно, чел.

$$T_{p1} = \frac{t_{ож1}}{C_1} = \frac{1,8}{1} = 1,8. \quad (82)$$

Длительность каждого этапа работ переведем из рабочих дней в календарные дни по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (83)$$

Где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях.

$$T_{k1} = T_{p1} \cdot k_{\text{кал}} = 1,8 \cdot 1,48 \approx 3. \quad (84)$$

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 8.






Таблица 8. Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Исполнители	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
		$T_{\min}$ , чел.-дн.	$T_{\max}$ , чел.-дн.	$T_{ож}$ , чел.-дн.		
1	Р	1	3	1,8	1,8	3
2	И	14	21	15,8	15,8	25
3	И	7	10	8,2	8,2	12
4	Р, И	1	3	1,8	1,8	3
5	Р, И	4	10	4,9	4,9	7
6	И	14	21	16	16	25
7	И	10	14	10,5	10,5	17
8	Р, И	7	14	9,8	5,5	8
9	И	14	21	15,5	15,5	25
Итого						125

Выполнение проекта займет 125 календарных дней. Занятость инженера больше, чем у руководителя так как он является основным исполнителем. Руководитель контролирует выполнение поставленных задач.

Реальная продолжительность работ может отличаться от расчетной из-за загруженности исполнителей другими проектами. На основе таблицы \_ построим план-график работ (таблица 9). В данном графике длительность исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта разделяется по месяцам и декадам.

Таблица 9. Календарный план-график проведения исследования

№ раб.	Вид работ	Испол- нители	$T_{ki}$ , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
1	Составление и утверждение задания НИР	Р	3													
2	Изучение исходных данных и материалов по тематике	И	25													
3	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	И	12													
4	Календарное планирование работ	Р, И	1													
5	Разработка структурной и функциональной схем	Р, И	7													

## Продолжение таблицы 9

[illegible]

- инженер,

- руководитель.



## 2.3 Бюджет научно-технического исследования (НИР)

### 2.3.1 Основная заработная плата исполнителей темы

Бюджет НИР должен отразить все расходы, которые необходимы на его выполнение.

В данной статье включены такие пункты, как основная заработная плата работников (включая премии, доплаты) и дополнительная заработная плата:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (85)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) работника:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (86)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата работника;  $T_p$  – продолжительность работ, которые выполняет работник в раб. дн., на основании таблицы 8;  $З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника (руб.).

Среднедневную заработную плату рассчитываем по следующей формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (87)$$

где  $З_m$  – месячная заработная плата работника, руб.:

$$З_m = З_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (88)$$

где  $З_{мс}$  – заработная плата по тарифной ставке (руб.);  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент (0,3);  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (0,2);  $k_p$  – районный коэффициент (1,3 – для города Томска);  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

$$З_{дн.инж} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{220} = 1695,34 \text{ руб.}, \quad (89)$$

$$З_m = З_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.} \quad (90)$$

Если отпуск составляет 24 раб. дня, то  $M = 11,2$  месяца (5-дневная неделя), а при отпуске в 48 раб. дней  $M$  составит 10,4 месяца (6-дневная неделя). Все расчеты для инженера аналогичны расчетам для руководителя, за исключением рабочей недели (5-дневная – для инженера, 6-дневная – для руководителя).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 11.

Таблица 10. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: выходные дни и праздничные дни	66	118
Потери рабочего времени: отпуск и невыходы по болезни	51	27
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	220

Таблица 11. Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{мс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	26300,0	0,3	0,2	1,3	51285,0	2150,66	14	30100,0
Инженер	17 000,0	0,3	0,2	1,3	33150,0	1695,34	78	131586,5
Итого:								161686,5

### 2.3.2 Дополнительная заработная плата исполнительской системы

Согласно ТК РФ, доплаты по заработной плате начисляются за отклонение от нормальных условий труда. Либо выплаты могут быть связаны с обеспечением гарантий и компенсаций (например, во время совмещения работы с обучением, при исполнении государственных и общественных обязанностей и т.д.).

Дополнительная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{допP} = Z_{осн} \cdot k_{доп}, \quad (91)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,15).

Дополнительная заработная плата инженера равна:

$$Z_{доп.инж.} = 131586,5 \cdot 0,15 = 19738 \text{руб.} \quad (92)$$

### 2.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья отражает обязательные выплаты в органы государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС), согласно законодательству, которые отчисляются от затрат на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн.} + Z_{доп}), \quad (93)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$Z_{внеб.инж.} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн.} + Z_{доп}) = 0,271 \cdot (131586,5 + 19738) = 41009 \text{руб.} \quad (94)$$

Согласно федеральному закону № 212 пункта 1 статьи 58 от 2017 года, для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность введена пониженная ставка на размер страховых взносов, которая составляет 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 12.

Таблица 12. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель проекта	30100,0	4515,0

Продолжение таблицы 12

Инженер	131586,5	19738,0
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды, %	27,1	27,1
Итого:	41009,0	9380,6

### 2.3.4 Амортизационные отчисления

Статья отражает постепенное погашение стоимости основных фондов организации, которые изнашиваются от времени, либо в процессе работы. Это и является амортизационными отчислениями.

Включены все затраты, которые не связаны с приобретением какого-либо специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме. Рассмотрим затраты на приобретение необходимого программного обеспечения.

Стоимость учитываемого в данной статье оборудования приведена в таблице 13.

Таблица 13. Стоимость оборудования

Наименование	Кол-во единиц	Цена единицы, руб.	Общая стоимость, руб.
Программное обеспечение MatLAB	1	131600	131600
Итого:			131600

Так как данное ПО было и будет использовано неоднократное количество раз, то учтем стоимость с помощью:

$$A = \frac{C \cdot N_{\text{дн.исп.}}}{T_{\text{ср.служ.}} \cdot 365} = \frac{131600 \cdot 125}{10 \cdot 365} = 4398 \text{руб.} \quad (95)$$

### 2.3.5 Накладные расходы

Данные расходы учитывают затраты, которые не рассмотрели в предыдущих статьях. (печать и ксерокопирование, оплата услуг электроэнергии и связи, почтовые и телефонные расходы).

Рассчитаем по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл.}} = (\text{сумма статей 1-4}) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}} + Z_{\text{внеб.}} + Z_{\text{амор.}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (96)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимаем 16%).

$$Z_{\text{накл.}} = (161686,5 + 24253 + 50389,6 + 4398) \cdot 0,16 = 38516,3 \text{ руб.} \quad (97)$$

### 2.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Основная величина для формирования бюджета проекта — это рассчитанные затраты НИР. Данные затраты являются нижним пределом затрат на данные исследования.

Определение бюджета на НИР приведено в таблице 14.

Таблица 14. Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	161686,5
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта	24253
3. Отчисления во внебюджетные фонды	50389,6
4. Амортизационные отчисления	4398
5. Накладные расходы	38516,3
Бюджет затрат НТИ	279243,4

Бюджет затрат НТИ в процентах представлен на диаграмме ниже.

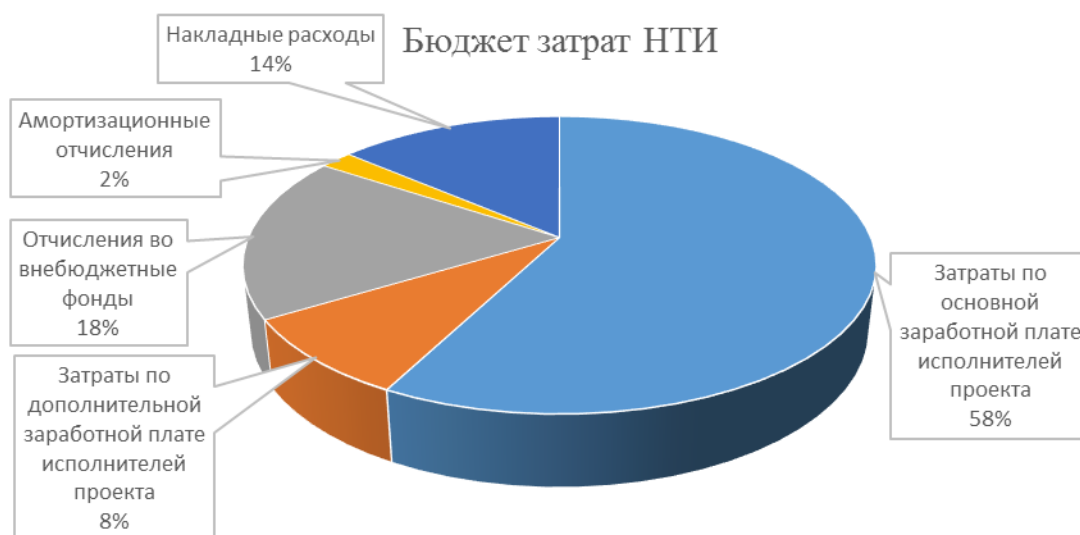


Рисунок 30 – Бюджет затрат НТИ

По итогам всех разделов был сделан вывод о перспективности исследования на основании анализа потребителей результатов исследования и анализа конкурентных решений. Т.е. проведена оценка коммерческого потенциала.

Во время исследования было задействовано два исполнителя (руководитель и инженер), на основании чего и было составлено планирование НИР. Проектирование осуществлялось в течении 122 календарных дней. Продолжительность работы инженера превышает продолжительность работы руководителя.

Также рассчитан бюджет затрат НТИ, который составляет 279243,4 руб. Самая затратная статья – это оплата труда исполнителей, которая составляет 58% от всех затрат. Самые наименьшие затраты осуществляются по статье амортизационных отчислений – 2%.

С точки зрения экономии средств, использование асинхронного электропривода более экономичнее и менее энергозатратнее.

В мире, рост потребления минерально-сырьевых и энергетических ресурсов продолжается долгое время, в связи с этим горнодобывающая промышленность обязана развиваться. Данный проект является актуальным для газодобывающей промышленности, которая очень развита в Сибири.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Янчуку Вадиму Сергеевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <p>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>1.4. чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>Картажная лаборатория представляющая собой модифицированный кузов автомобиля Урал с главным объектом рассмотрения исследования – регулируемый электропривод механизма подъема геофизического прибора.</p> <p>Необходимо поддержание:</p> <p>1.1. Нормативных метеоусловий, уровней вибрации и шума;</p> <p>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности.</p> <p>1.3. Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия предприятия (механического цеха).</p> <p>1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), электрический удар, например, при замыкании фазы питания на корпус электрической машины при нарушенном его заземлении.</p>
<p>2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</p> <p>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</p> <p>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</p> <p>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</p> <p>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</p>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <p>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>1.2. действие фактора на организм человека;</p> <p>1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>1.4. предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</p>	<p>Наиболее значимые вредные факторы:</p> <p>1. Шум</p> <p>2. Вибрации</p> <p>3. Недостаток естественного света</p> <p>4. Возможные ненормативные метеоусловия</p>
---	--

<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <p>2.1.механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.2.термические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>2.3.Опасность электропоражения (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</p> <p>2.4.Опасность загораний (пожаров) (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p>	<p>Наиболее вероятно воздействие на персонал следующих опасных факторов:</p> <p>1. Опасность захвата барабаном частей тела или одежды, попадание под колеса шасси, возможность получения травмы при обрыве кабеля.</p> <p>2. Опасность электропоражения;</p> <p>3.Пожаровзрывоопасность.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <p>3.1.анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</p> <p>3.2.анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</p> <p>3.3.анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</p>	<p>Описать воздействия на окружающую среду при геологических исследованиях.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>4.1.перечень возможных ЧС на объекте;</p> <p>4.2.выбор наиболее типичных ЧС;</p> <p>4.3.разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</p>	<p>Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения.</p> <p>Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.03.2017
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор кафедры ЭБЖ	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Янчук Вадим Сергеевич		



### **3 Социальная ответственность**

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

### **3.1 Анализ вредных факторов**

Часть технологического процесса исследования и проверки электропривода механизма подъема геофизического прибора основана на работе с двигателем, который в свою очередь является источником повышенного уровня шума, что является вредным фактором производственной среды [15]. Чтобы уменьшить влияние шума, можно применять различные меры такие как: замена подшипников качения на подшипники-скольжения, проверка и своевременная замена смазочных материалов у подшипников. Но такие меры слишком затратные и трудоемкие. Поэтому также возможно использовать различные ограждения из звукопоглощающих материалов и отдельных частей установки для снижения уровня шума.

Опасность может представлять повышенный уровень вибрации, который возникает во время работы исследуемого двигателя при нагрузках выше номинальной. Для избегания влияния вибраций на человека необходимо провести мероприятия на основании [21], а именно, жесткая фиксация рабочих механизмов на своих местах с использованием виброгасящих материалов.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света [8], при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность во взаимодействии с плохой освещенностью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки [8]. Простым решением для снижения риска является покраска отдельных частей установки в различные отчетливо видные цвета.

Возможные отклонения параметров метеоусловий от нормы. В частности, вредным фактором является пониженная подвижность воздуха [16], связанная с плохой вентилируемостью лаборатории, в связи с отсутствием вентиляционной системы. Следствием наличия теплоотдающих при работе элементов установки будет повышенная температура воздуха рабочей зоны

[16], которая пагубно влияет на состояние человека. Для решения этой проблемы нужно установить вентиляционную систему и систему кондиционирования.

### 3.1.1 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;
- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 15.

Таблица 15. Допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

### 3.1.2 Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Технические нормы вибрации представлены в таблице 16.

Таблица 16. Технические нормы вибрации

Вид вибрации	Среднеквадратичная частота, Гц									
	Логарифмический уровень виброскорости									
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500
Цех	-	103	100	101	106	112	118	-	-	-

Гигиенические нормы вибрации установлены для рабочего дня длительностью 8 часов представлены в таблице 17.

Таблица 17. Влияние вибрации на организм человека

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибра- ции, Гц	Результат воздействия
До 0,015	Различная	Не влияет на организм
0,016-0,050	40-50	Нервное возбуждение с депрессией

Продолжение таблицы 17

0,051-0,100	40-50	Изменение в центральной нервной системе, сердце и органах слуха
0,101-0,300	50-150	Возможное заболевание
0,101-0,300	150-250	Вызывает виброболь

Для виброзащиты применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

### 3.1.3 Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;

- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 18 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 18. Значения нормы КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

Нормы освещения при работе на каротажном подъемнике представлены в таблице 19.

Таблица 19. Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %		Освещенность, лк		
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении		при общем освещении
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Отсек управления (операторская)	Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400
	Экран дисплея: В-1	-	-	-	-	-	-	200
Отсек для обслуживания лебёдки и электродвигателя	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300

### 3.1.4 Микроклимат

Помещение лаборатории характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 20.



Таблица 20. Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91\* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с СанПиНом 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

### 3.2 Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки электромеханического подъемника. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками, в частности

двигателями. Для снижения уровня опасности проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [17 - 20].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с рабочим двигателем, соответственно вал двигателя находится в движении, что может привести к механическим повреждениям частей тела человека. Однако, благодаря конструкции двигателей, опасность представляют лишь выходные концы валов и места соединений. Для снижения риска устанавливают кожухи или защитные экраны в местах открытых движущихся механических частей.

Так же одной из главных опасностей всегда остается пожар. По пожарной безопасности, данное производство соответствует классу Б, так как производится работа на газовых и нефтяных месторождениях.

### **3.2.1 Электропоражение**

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- а) обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- б) требования к электрооборудованию;
- в) анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- г) мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- д) обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

Рассматриваемая лаборатория не имеет характеристик, свойственных особо опасным помещениям в части поражения электрическим током. Необходимо применение основных коллективных способов и средств электрозащиты: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защитное заземление и защитное отключение.

Для защиты от косвенных соприкосновений с токоведущими частями установки производится зануление. Защита от поражения электрическим током при косвенном прикосновении происходит за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети. Заземление электрооборудования и кузова каротажной лаборатории обеспечивается подключением к общему (базовому) заземлителю буровой установки.

Также, используются индивидуальные электрозащитные средства. В установках до 1000В используются диэлектрические перчатки, указатели напряжения, диэлектрические коврики и боты, изолирующие подставки, а также инструмент с изолированными рукоятками.

### **3.2.2 Загорание (пожар)**

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Пожарная безопасность при эксплуатации объектов обустройства газовых и нефтяных месторождений (бурение и эксплуатация скважин, первичная переработка, хранение и транспортировка продукции скважин) должна обеспечиваться в соответствии с проектом, технологическими регламентами и другой утвержденной в установленном порядке нормативной и эксплуатационной документацией, а оборудование должно соответствовать конструкторской документации [31]. По пожарной безопасности, данное

производство соответствует классу Б. Потому что, в данном производстве применяются ГСМ, температура вспышки паров которых от 28° С до 120° С, так же в скважинах, на месте проведения работ, может содержаться горючий газ, нижний предел воспламеняемости которых 10% к объёму воздуха. В процессе работы с этими жидкостями и газами, возможно образование взрывоопасных смесей с воздухом.

Т.е. технологический процесс в отсеке электродвигателя является взрывоопасной зоной, выделяющиеся газы и их смеси могут взрываться. Подъемник имеет взрывоопасную зону класса В-1. Для данной зоны используется электрооборудование II категории взрывоопасности. К категории II относится оборудование, применяемое для работы в условиях возможного образования промышленных взрывоопасных смесей газов и взвесей.

Минимальная допустимая степень защиты исполнения электрических машин для данной взрывоопасной зоны обозначается «n». Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики пожара, оно должно быть использоваться на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

### **3.3 Защита окружающей среды**

Негативным влиянием на литосферу выброс вредных веществ при потреблении электроэнергии во время работы двигателя. К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электрическую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов электроустановок и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный

воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

Для уменьшения потребления электроэнергии возможен вариант применения двигателя меньшей мощности с более высоким КПД.

Влияния на гидросферу и литосферу использование электродвигателя в подъемнике не оказывает.

### **3.4 Предотвращение ЧС и устранение их последствий**

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в лаборатории: возникновение пожара и электропоражение.

#### **3.4.1 Пожар (загорание) – как источник ЧС**

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [12], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей. Запрещается хранить топливо и обтирочный материал в помещении, предназначенном для электродвигателей и двигателей

внутреннего сгорания. Электрооборудование должно иметь искробезопасную категорию [24].

Каждая скважина должна быть оборудована следующими предметами пожаротушения: порошковый огнетушитель ОП-10 – 4 шт., порошковый огнетушитель ОП-50М – 4 шт., ящик с песком емк. 0.5 м<sup>3</sup>, совковые лопаты – 4 шт.

В случае возгорания оборудования подъемника обслуживающий персонал немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей, принимает все меры для тушения. Для случаев пожара, взрыва, стихийного бедствия на всех буровых вывешены планы действия обслуживающего персонала для ликвидации аварийных ситуаций, а также планы эвакуации персонала.

### **3.4.2 Электропоражение как источник ЧС**

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [24] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [24] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

## **Заключение**

В данной выпускной квалификационной работе была выполнена модернизация электропривода каротажного подъемника. Для этого был разработан асинхронный электропривод со скалярным управлением, регулирование скорости в котором осуществляется при помощи преобразователя частоты.

В качестве двигателя был выбран асинхронный электродвигатель 5A280S2K, мощностью 75 кВт. Для данного двигателя были построены естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики.

Было произведено имитационное моделирование системы электропривода в программной среде Simulink, по результатам которого получили графики переходных процессов при регулировании на заданном диапазоне частот.

Также, в данной работе произведено моделирование скалярного электропривода с использованием задатчика интенсивности, обеспечивающего плавность регулирования.

По результатам проектирования можно сказать, что разработанный асинхронный электропривод обеспечивает устойчивую работу спускоподъемного агрегата, выдерживая заданный момент статической нагрузки при изменении скорости на заданном диапазоне регулирования.



## Список использованных источников

1. Померанец Л.И. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин: Учебник для техникумов / Л.И.Померанец, Д.В. Белоконь, В.Ф. Козяр. – М.: Недра, 2005. – 271 с.
2. Дементьев Ю. Н. Электрический привод: учебное пособие для академического бакалавриата / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев, И.А. Чернышев. — 2-е изд.. — Москва: Юрайт, 2016. — 223 с.
3. Асинхронный электропривод каротажных подъемников визуального контроля технического состояния скважин [Электронный ресурс]. — URL: [http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/35809/1/bulletin\\_tpu-2016-v327-i12-03.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/35809/1/bulletin_tpu-2016-v327-i12-03.pdf), (дата обращения: 25.04.2017).
4. Электропривод подъемников комплексов геофизического исследования скважин [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin\\_TPU/2015/v326/i3/08.pdf](http://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2015/v326/i3/08.pdf), (дата обращения: 05.05.2017).
5. Удут Л. С. Разработка и моделирование асинхронных электроприводов со скалярным управлением: Известия вузов. Электромеханика / Л.С. Удут, А. Ю. Чернышев, Н.В. Гусев. – Южно-Российский государственный технический университет (ЮРГТУ (НПИ)), 2015. — 43-49 с.
6. Данфосс Россия [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.danfoss.ru>, (дата обращения: 25.04.2017).
7. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына: Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

8. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
9. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
10. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»
11. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
12. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т «Пожарная безопасность. Общие требования»
13. СП 9.13130.2009 «Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации»
14. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
15. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
16. СНиП 2.04. 05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
17. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
18. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»
19. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»
20. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»

21. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. «Вибрационная безопасность. Общие требования»

22. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных»

23. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств»

24. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».